

**PENCEMARAN SUNGAI OLEH LINDI BERDASARKAN PARAMETER
PENCEMAR COD DAN KROMIUM DENGAN
PEMODELAN MATEMATIS
(STUDI KASUS: BEKAS TPA CICABE, BANDUNG)**

***RIVER POLLUTION FROM LEACHATE
BASED ON COD AND CHROMIUM
WITH MATHEMATICAL MODELING
(CASE STUDY: FORMER CICABE WASTE DISPOSAL)***

***¹Elsa Try Julita Sembiring dan ²Idris M. Kamil**

Program Studi Magister Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132
e-mail: ¹elsatryjulita@gmail.com dan ²maxdoni@ftsl.itb.ac.id

Abstrak: Lindi yang dihasilkan TPA (Tempat Pembuangan Akhir) yang masih aktif beroperasi maupun yang sudah tidak, memiliki potensi mencemari lingkungan selama masih terdapat kemungkinan kontak dengan air. TPA Cicabe merupakan salah satu TPA yang sudah tidak aktif sejak tahun 2006 di Kelurahan Mandalajati, Bandung. Penelitian ini dilakukan di anak sungai dan saluran terbuka yang melintas di sisi TPA Cicabe. Parameter pencemar yang ditinjau pada penelitian ini adalah COD dan kromium (Cr). Untuk mengetahui penyebaran pencemar di sepanjang aliran anak sungai dilakukan model analitik 1-dimensi berdasarkan persamaan adveksi-dispersi pada air permukaan. Pengambilan sampling dilakukan dua kali untuk keperluan kalibrasi dan validasi model. Pengumpulan sampel meliputi sampel tanah, sedimen, dan air anak sungai. Input pencemar berasal dari lindi, limbah rumah tangga, dan cabang sungai. Perhitungan lindi menggunakan neraca air Thorntwaite. Hasil uji analisis sensitivitas menunjukkan koefisien degradasi (k) merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap nilai konsentrasi model dengan nilai koefisien sensitivitas (S) = 0,311. Hasil simulasi untuk kalibrasi dengan $kCOD=3/hari$ menunjukkan bahwa nilai COD model mendekati nilai konsentrasi COD hasil observasi dan validasi. Hasil simulasi transport Cr dengan $k=1,4 \times 10^{-4}/detik$ menunjukkan bahwa nilai Cr model sudah cukup valid mendekati nilai konsentrasi Cr hasil observasi dan validasi dengan level kepercayaan 99,5%.

Kata kunci: transpor polutan, adveksi, dispersi, kromium, Cicabe

Abstract: The leachate generated from landfills still active and inactive, is potentially to pollute environment as long as still contact with the water. Cicabe waste disposal site was one landfill that had been inactive since 2006 in the Mandalajati Village, Bandung. This research was conducted in the tributary and open channel that were across beside Cicabe former waste disposal site. Pollutant parameter studied here was COD and Chromium (Cr). To determine the pollutant transport along the tributary, it was used the equation 1-dimensional analytical model based on advection - dispersion equation in the water surface. The sampling was done twice for model calibration and validation need. The samples collected included soil, sediment, and water. Calculation of leachate discharge was using Thorntwaite water mass balance. The sensitivity analysis test resulted that the degradation coefficient (k) was the most influential parameter for the value of the model concentration with sensitivity coefficient (S) = 0.311. The simulation results for calibration with $kCOD=3/day$ showed the model concentration was already closed to approach observed and validated COD. The Cr simulation for $k = 1 \times 10^{-4}/sec$ resulted that the model concentration was quite closed to approach Cr observed and validated concentration with confidence level of 99.5%.

Keyword: pollutant transport, advection, dispersion, chromium, Cicabe

PENDAHULUAN

Secara umum, penanganan sampah di Indonesia dilakukan tersentralisasi di suatu kawasan yang disebut Tempat Pembuangan Akhir (TPA). TPA merupakan tempat menampung sampah dari berbagai lokasi dalam suatu kota. Penanganan sampah di TPA seringkali dilaksanakan secara *open dumping* yang berakibat terbentuknya lindi yang berpotensi mencemari air tanah dan air permukaan (Damanhuri, 2008). Masalah timbul ketika lindi bermigrasi dari *landfill* mengalir menuju badan air di sekitar TPA.

Lindi tidak hanya dihasilkan oleh TPA yang masih beroperasi, tetapi juga TPA yang sudah tidak beroperasi selama masih ada sampah yang mengalami proses pembusukan dan masih kontak dengan air. Menurut Tchobanoglous (1993), proses dekomposisi sampah terus terjadi selama 5-25 tahun bahkan lebih. Dengan demikian, untuk meminimalisir dampak TPA bagi lingkungan, perlu dilakukan pemantauan TPA baik bagi TPA yang aktif dan yang sudah tidak aktif lagi. Hal ini sesuai dengan Undang-undang Republik Indonesia No.18/2008 tentang Pengelolaan Sampah dalam pasal 9 ayat 1 bagian (e) berbunyi “Dalam menyelenggarakan pengelolaan sampah, pemerintah kabupaten/kota mempunyai kewenangan melakukan pemantauan dan evaluasi secara berkala setiap 6 (enam) bulan selama 20 tahun terhadap tempat pemrosesan akhir sampah dengan sistem pembuangan terbuka yang telah ditutup.”

Bekas TPA Cicabe merupakan salah satu TPA yang sudah tidak beroperasi di Kota Bandung. TPA ini berlokasi di Kelurahan Mandalajati Kecamatan Cicadas digunakan pada tahun 1972 sampai tahun 1987, kemudian digunakan kembali pada 1 April–30 April 2005 dan 9 Januari–14 April 2006. Lokasi bekas TPA ini memiliki luas 5,6 Ha dengan kapasitas penampungan sampah sekitar 105.000 m³ pada ketinggian 719 – 763 m.

Bekas TPA Cicabe berada bersampingan langsung dengan anak sungai yang mengalir menuju Sungai Cicabe. Penelitian ini dilakukan di anak sungai ini dengan input pencemar berasal dari lindi dan limbah rumah tangga dari sekitar daerah tersebut. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk mengetahui pencemaran di anak sungai ini, pemodelan matematis dapat diterapkan untuk mengetahui penyebaran polutan. Model matematika untuk transpor dan difusi senyawa kimia bisa memegang peranan penting dalam membangun program monitoring jangka panjang. Saat ini, model matematika untuk masalah kualitas air sungai merupakan alat yang efisien dalam manajemen sumber daya air (Benedini, 2011).

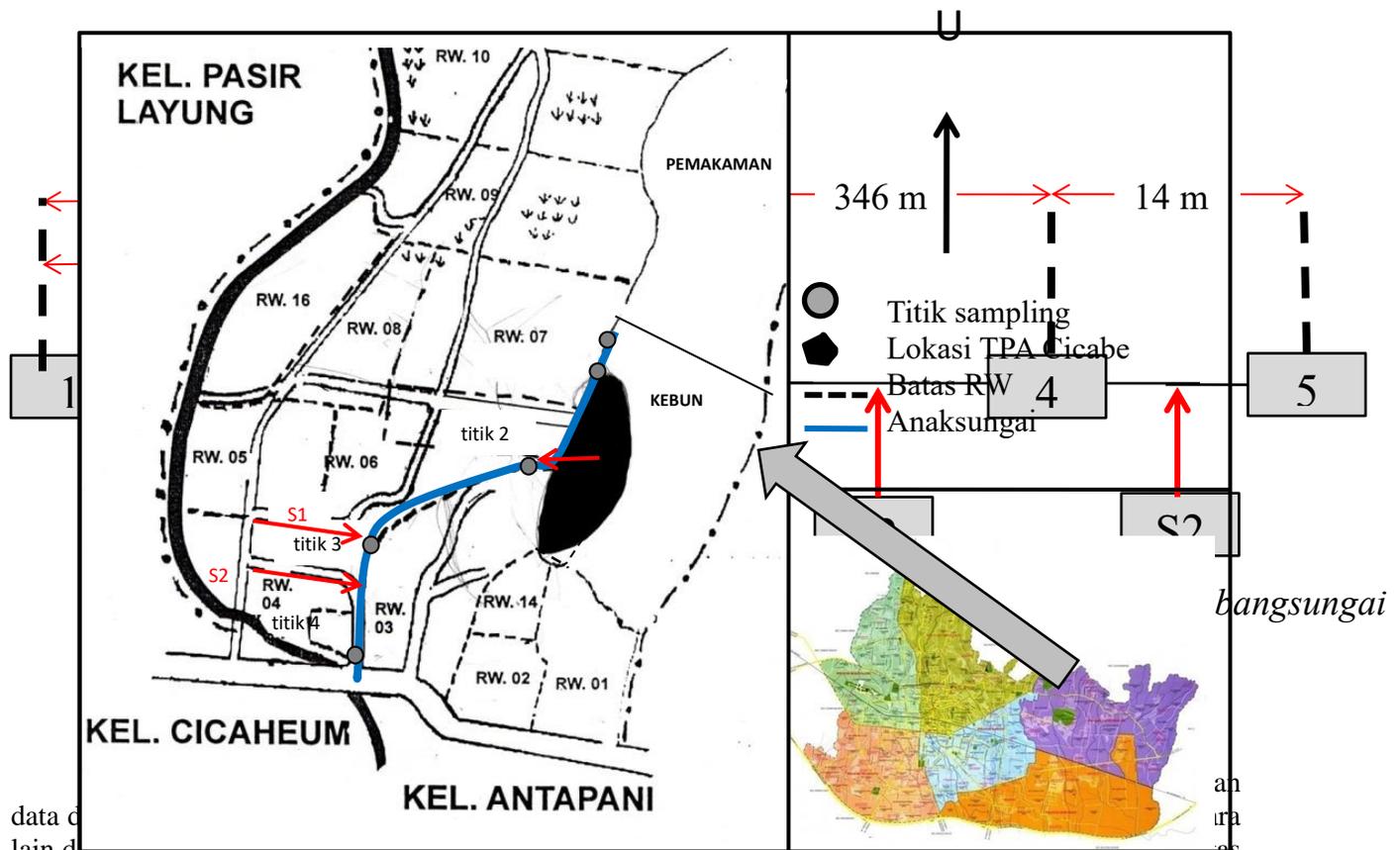
Penelitian terhadap air tanah di sekitar TPA Cicabe terhadap beberapa parameter pencemar juga pernah dilakukan. Hasil penelitian terhadap air tanah oleh Arifandi (2011) menyatakan bahwa terdapat dua lokasi sampling yang memiliki indeks kontaminasi tinggi dengan parameter yang diuji adalah COD, nitrat, besi dan mangan. Dengan demikian, untuk mendapatkan gambaran keadaan TPA Cicabe secara menyeluruh, perlu dilakukan penelitian pada badan air permukaan yang berlokasi di samping TPA tersebut.

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai pemodelan matematis pada air permukaan pernah dilakukan oleh Harpah (2013) di Sungai Deli Kota Medan, Suprian (2012) di Kali Ciasem TPA Bantar Gebang Kota Bekasi dan Ani (2009) di Sungai Murray Burn Edinburg, UK. Hasil yang didapatkan dari beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemodelan matematika analitis cukup menggambarkan penyebaran pencemar di dalam badan air. Penelitian Ani., *et al* (2010) menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh dari model analitis dan numerik tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

METODOLOGI

Pengumpulan Data Primer

Titik sampling dibagi berdasarkan letak sumber pencemar. Titik 1 sebagai titik awal sebelum terjadinya pencemaran. Titik S1 dan S2 merupakan input pencemar yang terjadi. Pada karakterisasi awal dilakukan pengambilan pada sampel tanah dan air. Lokasi titik sampling dapat tercantum pada **Gambar 1** dan segmentasi sungai diperlihatkan pada **Gambar 2**.



data dan lain data hidrogeometri sungai, konsentrasi COD dan konsentrasi Cr dalam an mapan sedimen. Kondisi badan air dianggap relatif stabil sehingga pengambilan sampel air menggunakan metode *grab sampling*. Pemeriksaan berdasarkan *Standar Methode-for the examinations of water and wastewater* (2005).

Aplikasi Model

Model matematika yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan analitik 1-D transport logam Cr dan COD. Parameter karakteristik transport polutan di air permukaan berubah-ubah di sepanjang ruang koordinat yang direpresentasikan oleh panjang, lebar, dan kedalaman air. Penggunaan model 1-D diterapkan karena diasumsikan proses *mixing* paling dominan adalah dispersi longitudinal (Jobson, 1996; Fischer et al., 1979; Chin, 2006; Wallis dan Manson, 2005; Ani et al., 2009). Pergerakan polutan pada aliran sungai digunakan Model 1-D untuk COD dan logam berat berdasarkan Schnoor (1996) berupa persamaan pengatur adveksi – difusi model transport polutan 1-D yang ditunjukkan oleh **Persamaan (1)**.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + S - R$$

Persamaan (1)

dimana C adalah konsentrasi lokal (mg/L); E_x adalah koefisien dispersi longitudinal ($m^2/detik$); u_x adalah kecepatan dispersi longitudinal (m/detik); S adalah suku sumber polutan (mg/L); R adalah proses kinetik/suku reaksi (mg/L). Suku reaksi R menunjukkan proses biologis, fisis, dan kimia yang mempengaruhi penyebaran polutan. Logam memiliki $R=0$ karena termasuk pada senyawa polutan konservatif sedangkan COD termasuk senyawa non konservatif (Handiani, 2004) sehingga pada suku R dimasukkan reaksi penguraian orde pertama seperti **Persamaan (2)**.

$$\frac{\partial COD}{\partial t} = - \frac{DO}{KH_{COD} + DO} K_{COD} COD$$

Persamaan (2)

Dimana DO adalah konsentrasi oksigen terlarut (mg/l); KH_{COD} adalah konsentrasi jenuh DO yang dibutuhkan dalam proses penguraian COD ($0,5 \text{ gO}_2/\text{m}^2$); K_{COD} adalah konstanta laju degradasi COD (20/hari). Dengan asumsi sumber pencemar *semi infinite*, solusi analitik persamaan transport 1-D dengan degradasi yang digunakan adalah **Persamaan(3)** (Fjeld, 2006). Sedangkan solusi analitik persamaan transport satu dimensi tanpa degradasi menggunakan **Persamaan(4)**.

$$C(x, t) = \left[\frac{S_0}{2Q} \operatorname{erfc} \left(\frac{x-ut}{\sqrt{4E_x t}} \right) + \exp \left(\frac{ux}{E_x} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x+ut}{\sqrt{4E_x t}} \right) \right] \exp \left(-k \frac{x}{u} \right) \quad \text{Persamaan (3)}$$

$$C(x, t) = \left[\frac{S_0}{2Q} \operatorname{erfc} \left(\frac{x-ut}{\sqrt{4E_x t}} \right) + \exp \left(\frac{ux}{E_x} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x+ut}{\sqrt{4E_x t}} \right) \right] \quad \text{Persamaan (4)}$$

dimana S_0 adalah jumlah massa kontaminan yang dikeluarkan per satuan waktu yang merupakan konsentrasi awal dikalikan dengan debit; u adalah kecepatan arus dari pengukuran di lapangan Estimasi koefisien dispersi longitudinal dalam aliran menggunakan rumus yang dikembangkan Fischer (1979). Rumus Fischer meliputi lebih banyak parameter yang memungkinkan setiap ketergantungan koefisien dispersi pada saluran seperti geometris dan kecepatan yang akan diwakili (Ani., *et al*, 2009). Rumus Fischer ditunjukkan pada **Persamaan (5)**.

$$E_x = 0,011 \frac{B^2 u^2}{H U^*} \quad \text{Persamaan (5)}$$

Parameter U^* merupakan *shear velocity* dihitung menggunakan **Persamaan (6)**

$$U^* = \sqrt{gHS} \quad \text{Persamaan (6)}$$

dimana E_x adalah koefisien dispersi longitudinal (m^2/detik) dan H adalah kedalaman rata-rata sungai (m).

Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi model merupakan tahapan pertama pengujian data lapangan. Data yang digunakan adalah data awal yang tidak digunakan dalam pembentukan model asli. Verifikasi berfungsi sebagai pengecekan awal untuk menilai perilaku model sudah sesuai dengan yang diinginkan untuk beberapa resiko yang mudah (Dahl, 2001; Suprian, 2012). Evaluasi parameter dilakukan dengan menggunakan metode *Chi-Square* (Schoor, 1996) yang ditunjukkan pada **Persamaan (7)**

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{obs} - Y_{model})^2}{Y_{model}} \quad \text{Persamaan (7)}$$

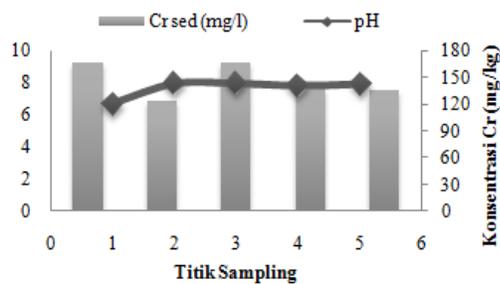
Dimana X^2 = distribusi *Chi-Square*; Y_{obs} = hasil observasi; Y_{model} = hasil simulasi; n = jumlah observasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

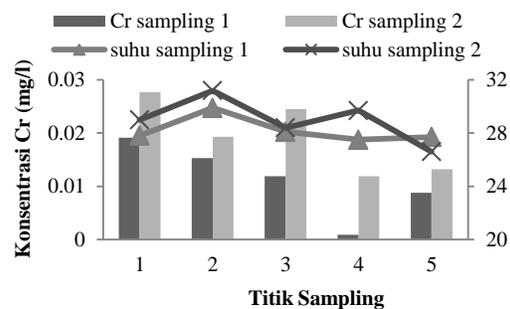
Sebagian besar hasil analisis terhadap sampel air menunjukkan konsentrasi yang berada dalam kisaran yang tidak melebihi baku mutu air permukaan kelas III PP 82/2001. Pembahasan tulisan difokuskan pada hasil pengukuran parameter fisik dan simulasi model terhadap jarak.

Parameter Fisik dan Kimia

Parameter fisik dan kimia air yang diukur langsung untuk mengetahui kondisi badan air meliputi pH, temperatur, DHL, *Dissolved Oxygen* (DO), COD, Cr di air dan sedimen. Derajat keasaman atau pH menunjukkan konsentrasi ion hydrogen atau lebih tepatnya aktivitas ion hydrogen. Rentang pH pengukuran di sepanjang badan air pada sampling 1 dan 2 berturut-turut berkisar 6,9–7,78 menunjukkan masih memenuhi baku mutu air kelas III menurut Peraturan Pemerintah No.82 tahun 2001 yaitu antara 6-9. Sementara pH lindi 8,14 seperti pH lindi pada umumnya yang bersifat basa. Logam Cr trivalen merupakan spesi kromium di dalam sedimen (Sorensen *et al.*, 2010). Untuk perairan yang berlingkungan basa ion-ion ini akan diendapkan di dasar perairan (Taftazani, 2007; Palar, 1994). **Gambar 3** menunjukkan pengukuran pH sungai dihubungkan dengan keberadaan logam Cr di sedimen pada sampling 2.



Gambar 3. Pengukuran pH dan Konsentrasi Cr di Sedimen di Badan Air

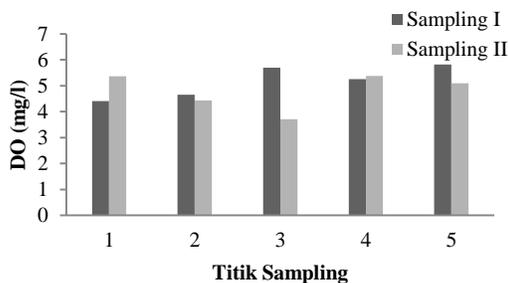


Gambar 4. Pengukuran Suhu dan Konsentrasi Cr di Badan Air

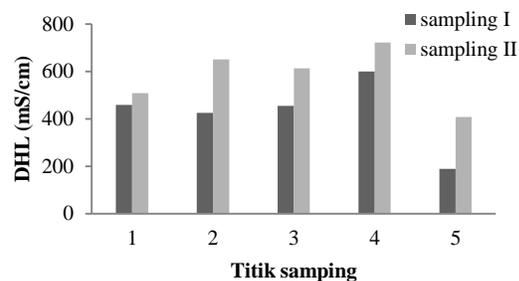
Temperatur berpengaruh terhadap konsentrasi DO jenuh dalam airdan kelarutan konsentrasi logam. Berdasarkan hasil sampling pada **Gambar 4** dapat dilihat bahwa kecenderungan meningkatnya temperatur mengakibatkan kecenderungan meningkatnya konsentrasi logam Cr di air.

Konsentrasi DO berguna dalam menentukan tingkat pencemaran di badan air untuk proses *self purification*. Konsentrasi oksigen yang terlarut di dalam air tergantung kepada sifat fisik, kimia, dan aktivitas biokimia dalam air. Baku mutu konsentrasi DO berdasarkan PP No. 82/2001 untuk air kelas III adalah 3 mg/l. Berdasarkan pengukuran, konsentrasi DO sampling I dan II berkisar 4,41-5,82 dan 5,1-5,7. Hasil pengukuran DO diperlihatkan pada **Gambar 5**.

DHL dipengaruhi reaktivitas, bilangan valensi, dan konsentrasi (Naily, 2011 ; Effendi, 2003). Nilai DHL sampel badan air di bekas TPA Cicabe berada pada rentang pada 182,2 – 777 mS/cm. Hasil pengukuran DHL diperlihatkan pada **Gambar 6**.



Gambar 5. Pengukuran DO Sampel di Badan Air



Gambar 6. Pengukuran DHL di Badan Air

Hidrogeometri Badan Air

Karakteristik hidrogeometri badan air pada sampling 1 yang ditinjau ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hidrogeometri Sungai

Titik	B (m)	H (m)	A (m ²)	U (m/s)	Q (m ³ /s)	P (m)	S (m/m)	Ex (m ² /s)
1	1,3	0,175	0,256	0,168	0,0430	1,339	1,360x10 ⁻⁴	0,1967
2	1,25	0,115	0,133	0,117	0,0160	1,256	1,438 x10 ⁻⁴	0,1603
3	2,5	0,178	0,458	0,144	0,0658	2,503	1,786 x10 ⁻⁴	0,4535
4	4,5	0,213	0,938	0,250	0,234	4,504	4,560 x10 ⁻⁴	2,1260
5	4,5	0,325	1,95	0,126	0,246	5,515	5,745 x10 ⁻⁵	0,8085

dimana B adalah lebar, H adalah kedalaman air, A adalah luas penampang, U adalah kecepatan air, Q adalah debit, P adalah keliling basah, S adalah kemiringan, dan E_x adalah koefisien dispersi.

Model Transpor Polutan

Pemodelan transpor polutan di anak sungai di sisi bekas TPA Cicabe menggunakan solusi analitik persamaan adveksi-dispersi dengan sumber pencemar *semi infinite* dan merupakan sumber titik. Diasumsikan konsentrasi pencemar bernilai nol pada $t=0$. Adanya input dari sumber mengeluarkan polutan dengan konsentrasi tertentu secara konstan. Konsentrasi awal polutan diasumsikan sama dengan konsentrasi hasil pengukuran di Titik 1, yakni lokasi sebelum terjadinya input pencemar dari TPA.

Kondisi awal : $C_0=47,47$ mg/l; $Q=0,043$ m³/det ; $u=0,16817$ m²/det; $E_x=0,1967$ m²/det; input kontaminan berasal dari lindi TPA, limbah RT dan cabang sungai. Debit lindi dihitung dengan menggunakan metode neraca air Thorntmaite yang berdasarkan asumsi bahwa lindi yang dihasilkan berasal dari curah hujan yang berhasil meresap masuk ke dalam timbulan sampah (perkolasi). Faktor yang berpengaruh terhadap kuantitas perkolasi dalam metode neraca air ini meliputi: presipitasi, evapotranspirasi, *surface run off*, *soil moisture storage* (Damanhuri, 2008). Sedangkan debit limbah rumah tangga dihitung berdasarkan debit rata-rata limbah dari penduduk di sekitar anak sungai yakni RW 3 Kelurahan Mandalajati yakni sejumlah 1350 jiwa (Ariefandi, 2011). Debit input dari cabang sungai ditentukan berdasarkan data lapangan. Simulasi ditinjau terhadap perubahan jarak hingga mencapai jarak 795 m dengan $t= 26$ tahun sesuai dengan umur TPA hingga saat ini. Setiap input yang masuk diasumsikan sebagai sumber titik (*point source*) dan ditambahkan di ujung segmen lokasi sampling dengan prinsip kesetimbangan massa (*mass balance*).

Analisis Sensitivitas dan Kalibrasi Model COD

Berdasarkan uji sensitivitas, nilai konsentrasi model paling dipengaruhi oleh kecepatan aliran (u) dan konstanta degradasi (k COD). Nilai k COD ($k+\Delta k$) dan ($k-\Delta k$) disubstitusikan ke solusi analitik dengan k COD teori (Handiani, 2011) adalah 20/hari. Dengan menggunakan k COD=20/hari diperoleh nilai distribusi chi-kuadrat (X^2) yang cukup besar yakni 63,57 untuk $n=4$. Untuk meningkatkan level kepercayaan maka dicoba beberapa nilai k COD seperti tercantum pada **Tabel 2**.

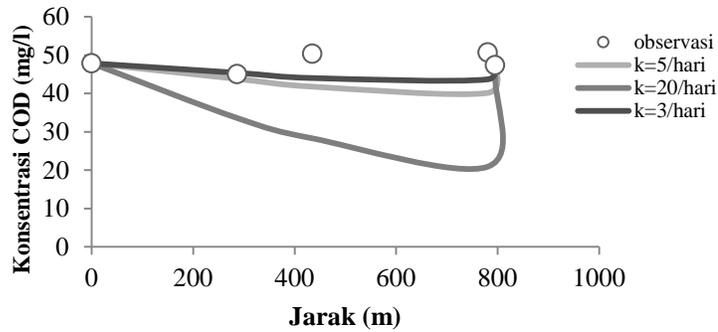
Tabel 2. Kalibrasi Model COD

Jarak	COD observasi	kCOD=20/hari		kCOD=5/hari		kCOD=3/hari	
		CODmodel	X^2	CODmodel	X^2	CODmodel	X^2
287	45,02	33,57	3,90	43.80	0,033	45,38	0,9187
435	50,39	28,29	17,25	41.78	1,772	44,03	1,1223
781	50,71	20,92	42,38	40.17	2,760	43,70	0,1053
795	47,34	46,21	0,027	49.09	0,062	49,62	2,1493
Jumlah			63,57		4,633		2,1493

Dengan menggunakan k COD sebesar 5/hari, nilai X^2 yang diperoleh lebih kecil lagi. Hasil simulasi dengan k COD=3/hari menunjukkan nilai konsentrasi COD model yang mendekati nilai konsentrasi COD observasi diperoleh X^2 sebesar 2,1493 untuk $n=4$ dan maka model COD ini melewati uji kecocokan pada level kepercayaan 60% untuk kalibrasi.

Simulasi Model COD

Hasil simulasi traspor COD dengan menggunakan variasi nilai k COD ditunjukkan pada **Gambar 7**. Dari model tersebut dapat dilihat bahwa degradasi COD yang terjadi sepanjang anak sungai kecil. Pada **Gambar 7** hasil simulasi COD menggunakan k COD=3/hari menunjukkan hasil yang menekati nilai observasi apabila dibandingkan dengan k COD berdasarkan teori yakni 20 /hari.

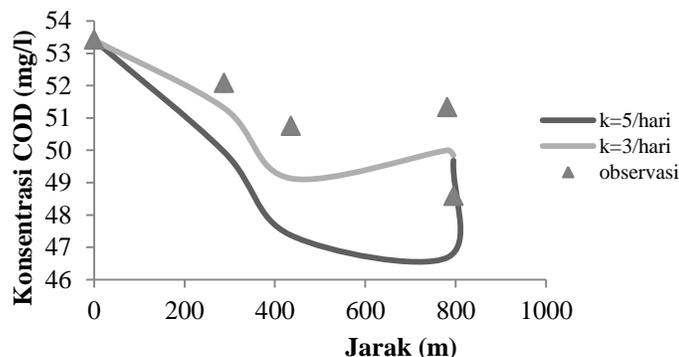


Gambar 7. Simulasi 1-D Konsentrasi COD dengan Variasi kCOD

Dari **Gambar 7** bahwa proses penyebaran polutan cenderung konstan apabila tidak ada input baru. Simulasi memperhitungkan input dari lindi dan limbah rumah tangga. Pengaruh lindi pada jarak 435 m terhadap pencemaran COD tidak signifikan menurut model yang tertera pada **Gambar 7** bila dibandingkan pengaruh input dari limbah rumah tangga. Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran COD lebih dipengaruhi keberadaan input dari rumah tangga.

Validasi Model COD

Validasi model COD dilakukan dengan menggunakan data sampling kedua. Kondisi awal: $C_0 = 53,41$ mg/l; $Q = 0,00929$ m³/l; $u = 0,227$ m²/det; $E_x = 1,516$ m²/det. Hasil simulasi COD ditunjukkan oleh **Gambar 8**. Dengan menggunakan nilai teori kCOD=20 /hari diperoleh nilai X^2 cukup besar yakni 28,85. Dengan menggunakan kCOD 3/hari diperoleh X^2 sebesar 0,1322 dengan $n=4$ dan level kepercayaan 97,5%. Sedangkan untuk kCOD 5/hari diperoleh nilai $X^2 = 0,8180$ dengan level kepercayaan kurang dari 90%. Dengan demikian nilai kCOD yang cukup valid digunakan untuk menggambarkan polutan dalam badan air yang dikaji adalah kCOD= 3/hari.



Gambar 8. Hasil Validasi Konsentrasi COD

Dari hasil simulasi, dapat dilihat bahwa model konsentrasi COD kurang stabil. Pada hasil evaluasi chi-kuadrat dengan level kepercayaan yang berbeda untuk kCOD 3/hari. Hal ini dimungkinkan karena beragamnya sumber pencemar COD di lokasi penelitian tetapi tidak dapat terdeteksi oleh model dikarenakan asumsi input yang digunakan berupa *point source*. Nilai kCOD yang kecil menunjukkan bahwa COD yang didegradasi hanya sedikit per harinya. Padahal beban limbah yang masuk kontinu dan cukup besar.

Model Transpor Cr

Logam Cr adalah pencemar konservatif, yaitu pencemar yang tidak mengalami kehilangan atau perubahan akibat reaksi kimia atau degradasi biokimia. Substansi konservatif tidak ada perubahan

konsentrasi antara percabangan atau input limbah, konsentrasi berubah hanya pada saat ada sumber baru dalam aliran (Thomman dan Mueller, 1987).

Analisis Sensitivitas dan Kalibrasi Model Cr

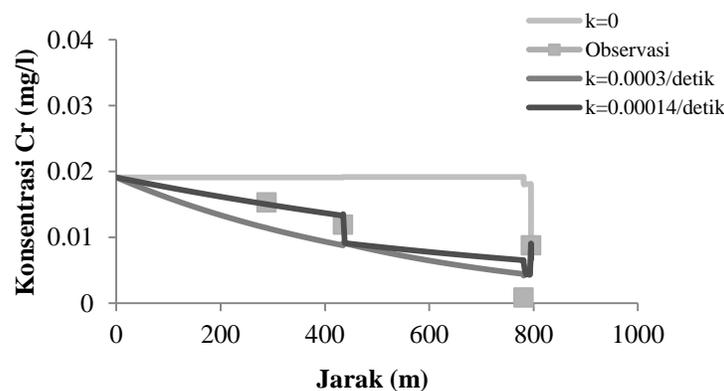
Kalibrasi dilakukan dengan merubah-ubah nilai kCr. Sebagai pencemar konservatif seharusnya nilai kCr=0/detik. Dengan menggunakan nilai kCr= 0/detik diperoleh nilai $X^2=0,0364$ dengan n=4 dan level kepercayaan 99,5%. Nilai konsentrasi Cr model kurang sesuai dengan konsentrasi Cr yang didapatkan dari observasi, oleh karena itu dilakukan simulasi berbagai kCr : 0 – 0,0005/detik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai X^2 terkecil diperoleh pada kCr= $1,4 \times 10^{-4}$ /detik dengan level kepercayaan 99,5%. Pada kondisi ini logam Cr dianggap mengalami peluruhan di sepanjang aliran dalam bentuk sedimen. Hal ini dibuktikan dengan tingginya konsentrasi Cr dalam sedimen yang berkisar 135–167 mg/kg. Untuk meningkatkan level kepercayaan maka dicoba beberapa nilai kCr seperti tercantum pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kalibrasi Model Cr

Jarak	Cr observasi	kCr=0/detik		kCr= $1,4 \times 10^{-4}$ /detik		kCr= 3×10^{-4} /detik	
		Cr model	X^2	Cr model	X^2	Cr model	X^2
287	0.0153	0.0191	0.0008	0.015041	0.0000	0.011447	0.0013
435	0.0119	0.019163	0.0192	0.013527	0.0002	0.009149	0.0008
781	0.00087	0.018078	0.0164	0.006161	0.0045	0.004191	0.0026
795	0.0088	0.008052	0.0001	0.006713	0.0006	0.006701	0.0007
Jumlah			0.0364		0.00539		0.00541

Simulasi Model Cr

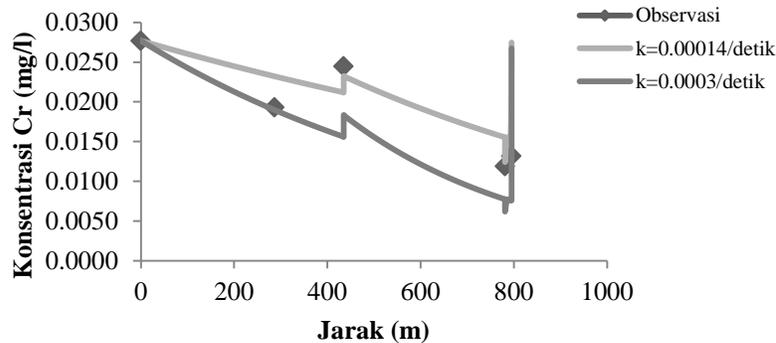
Hasil simulasi traspor Cr dengan menggunakan variasi nilai kCr pada **Tabel 3** ditunjukkan pada **Gambar 9**. Dari model tersebut dapat diketahui bahwa terjadi degradasi di sepanjang aliran yang sangat kecil. Berdasarkan analisis kalibrasi, model Cr dengan nilai kCr= $1,4 \times 10^{-4}$ /detik yang memiliki nilai paling mendekati Cr observasi. Pada **Gambar 9** hasil ditunjukkan hasil simulasi Cr menggunakan kCr=0/detik, kCr= 3×10^{-4} , serta kCr= $1,4 \times 10^{-4}$ /detik.



Gambar 9. Simulasi 1-D Konsentrasi Cr dengan Variasi kCr

Validasi Model Cr

Validasi model Cr dilakukan dengan menggunakan data sampling kedua. Kondisi awal: $C_0=0,00191 \text{ mg/l}$; $Q=0,00929 \text{ m}^3/\text{l}$; $u=0,227 \text{ m}^2/\text{det}$; $E_x=1,516 \text{ m}^2/\text{det}$. Hasil simulasi Cr ditunjukkan oleh **Gambar 10**.



Gambar 10. Hasil Validasi Konsentrasi Cr

Hasil uji chi kuadrat menunjukkan hasil yang mendekati dengan kalibrasi sampling 1. Hasil simulasi $k_{Cr}=0/\text{detik}$, $3 \times 10^{-4}/\text{detik}$, dan $1,4 \times 10^{-4}/\text{detik}$ dengan $n=4$ memiliki level kepercayaan 99,5% dengan nilai X^2 terkecil diperoleh $k_{Cr}=1,4 \times 10^{-4}/\text{detik}$.

KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran pada beberapa titik anak sungai menunjukkan bahwa air sungai tidak tercemar baik oleh limbah dari TPA atau limbah rumah tangga berdasarkan PP 82 tahun 2001 untuk badan air kelas III berdasarkan parameter kromium. Apabila ditinjau berdasarkan konsentrasi COD di anak sungai tidak mebak mutu pada beberapa titik. Ditinjau berdasarkan konsentrasi Cr di sedimen sungai menunjukkan bahwa sedimen tercemar dengan konsentrasi 123-167 ppm berdasarkan baku mutu US-EPA (2004) yakni 76 ppm.

Hasil simulasi untuk kalibrasi dan validasi dengan $k_{COD} = 3/\text{hari}$ menunjukkan bahwa model nilai COD model cukup mendekati nilai konsentrasi COD hasil observasi dan validasi.

Hasil simulasi untuk kalibrasi dan validasi Cr dengan $k = 1,4 \times 10^{-4}/\text{det}$ menunjukkan konsentrasi model sudah cukup mendekati konsentrasi Cr observasi. Hasil simulasi Cr menunjukkan bahwa Cr memiliki laju peluruhan yang dibuktikan dengan ditemukannya konsentrasi Cr sedimen yang cukup tinggi.

Daftar Pustaka

- Ariefandi, Iqbal. 2012. *Penerapan Metode Indeks Pencemaran Pada Penentuan Kualitas Air di Sekitar TPA Cicabe*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan. ITB. Bandung.
- Ani, E. C. 2009. *Modeling of Pollutant Transport in Rivers : Process Engineering Approach*. Ringkasan Tesis PhD. Babes-Bolyai University. Cluj-Napoca Romania.
- Ani, E. C., Hutchins, M. G., Kraslawski, A. dan Agachi P. S. 2010. *Assessment of Pollutant Transport and River Water Quality Using Mathematical Model*. Rev. Roum. Chim 55 (4) : 285-291.
- Benedini, M., (2011) : *Water Quality Models for Rivers and Streams, State of the Art and Future Perspectives, European Water*, 34, 27-40.
- Damanhuri, E. 2008. *Diktat Landfilling Limbah Bagian 7 Pengelolaan Leachate*. FTSL ITB.
- Fjeld, R. A., Eisenberg, N. A., Compton, K. L. 2006. *Quantitative Environmental Risk Analysis For Human Health*. USA : John Wiley & Son, Inc, Publication.
- Handiani, D.N. 2004. *Studi Sirkulasi Arus dan Transpor Polutan Cobalt dan COD (Chemical Oxygen Demand) di Perairan Pantai Cilegon untuk Memonitor Buangan Limbah Industri*. Tesis Magister Program Magister Teknik Lingkungan. ITB. Bandung.
- Harpah, Novrida. 2013. *Kajian Kualitas Air dan Simulasi Transpor Kromium (Cr) di Perairan Terbuka (Studi Kasus Air Sungai Deli, Medan)*. Tesis Magister Program Magister Teknik Lingkungan. ITB. Bandung.
- Naily, Wilda. 2011. *Analisis Ion Klorida Air Tanah di Sekitar Lokasi Bekas TPA*. Tesis Magister Program Magister Teknik Lingkungan. ITB. Bandung
- Schnoor, J. L. 1996. *Environmental Modeling Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil*, New York : John Wiley & Sons, Inc.

- Sorensen, Mary, Vicor Magar, dan Linda Martello. 2010. *Chromium in Estuarine Sediments: Geochemical Influences on Toxicity*. ENVIRON International Corporation Atlanta, GAMid-Atlantic : Contaminated Sediment/Soils Symposium.
- Suprian, Chefin. 2012. *Kajian Pencemaran Sungai Oleh Leachate berdasarkan Parameter COD dan Cu dengan Pemodelan Matematis (Studi Kasus : TPA Sumur Batu dan TPA Bantar Gebang, Bekasi)*. Tesis Magister Program Magister Teknik Lingkungan. ITB. Bandung.
- Taftazani, Agus. 2007. *Distribusi Konsentrasi Logam Berat Hg dan Cr Pada Sampel Lingkungan Perairan Surabaya*, Prosiding PPI – PDIPTN. BATAN. Yogyakarta.
- Thomann, R.V. dan Mueller J. A. 1987. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. New York : Harper & Row, Publishers, Inc.
- Tchobanoglous, G. dan Theisen. 1993. *Integrated Solid Waste management*. Mc Graw-Hill International Edition.
- US-EPA, 2004, *The Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of the United States, National Sediment Quality Survey: Second Edition*, United States Environmental Protection Agency, Standards and Health Protection Division, Washington, DC 20460.