

PERMODELAN PERSEBARAN KONSENTRASI NITRAT DALAM AIR SUNGAI DENGAN SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL

Studi Kasus: Sungai-Sungai di Kecamatan Bojongsari dan Sawangan, Depok

*(Modelling Approach to Calculate Nitrate Concentration Distribution in River Using Soil and Water Assessment Tool
Case Study: Rivers in Bojongsari and Sawangan Sub-Districts, Depok)*

Randhi Atiqi¹, Eko Kusratmoko², Tito Latif Indra²

¹ Pusat Pemetaan Tata Ruang dan Atlas, Badan Informasi Geospasial

² Departemen Geografi, FMIPA UI

Jl Raya Jakarta Bogor KM 46 Cibinong

E-mail: randhi.atiqi@big.go.id

Diterima (received): 11 Mei 2014; Direvisi (revised): 6 Juli 2014; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 10 September 2014

ABSTRAK

Pendekatan modeling merupakan metode yang banyak digunakan untuk manajemen daerah aliran sungai (DAS) dengan lebih baik karena dimungkinkan untuk dilakukan forecasting terhadap dampak-dampak yang mungkin akan terjadi sehubungan dengan aktivitas manusia di DAS tersebut. Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT) secara ekstensif telah umum digunakan untuk mempelajari debit sungai, hasil sedimen, dan muatan nutrien. Penelitian ini dilakukan pada Kali Gede, Ci Putat, Kali Caringin, dan Kali Angsana yang tersebar di Kecamatan Bojongsari dan Sawangan, Depok. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana hasil simulasi model SWAT terhadap persebaran konsentrasi nitrat dalam air sungai sehubungan dengan penggunaan lahan dan membuat simulasi persebaran konsentrasi nitrat dengan skenario wilayah permukiman mengalami perluasan sebesar 1,2% per tahun. Validasi hasil simulasi model menggunakan data konsentrasi nitrat hasil pengukuran langsung yang dilaksanakan pada bulan April 2013. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model SWAT dapat menghasilkan simulasi yang baik pada wilayah dengan topografi dan jenis tanah yang homogen, serta jenis penggunaan lahan yang berbeda. Hal ini ditunjukkan dengan nilai Normalized Objective Function (NOF) untuk Kali Gede adalah 0,21, Ci Putat 0,11, Kali Caringin 0,09, dan Kali Angsana 0,05. Sementara NOF yang dapat diterima adalah dari 0-1, dimana nilai 0 adalah nilai yang paling sempurna. Selain itu, meluasnya wilayah permukiman akan meningkatkan konsentrasi nitrat dalam air sungai di Kecamatan Bojongsari dan Sawangan.

Kata Kunci: model, SWAT, DAS, konsentrasi nitrat, penggunaan lahan

ABSTRACT

Modelling approaches is widely used to get best watershed management because it's possibility to forecast the impact of human activities on watershed. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model has been used extensively to study run off, sediment yield, and nutrient load. This research was take place at Kali Gede, Ci Putat, Kali Caringin, and Kali Angsana located in Bojongsari and Sawangan Sub-district, Depok City. The purposes of this research were to know accuracy of SWAT modeling making simulation nitrate concentration in river related with homegeneous slope and soil, and heterogeneouse landuse and to forecast tthe impact of the residential area expansion to the nitrate concentration. Model simulation is validated using observe nitrate concentration data which was taken from river in April 2013. The conclusion of this research are SWAT model can be used to make acurate simulation of nitrate concentration whichare shown by Normalized Objective Function (NOF) values which 0.21 at Kali Gede, 0.11 at Ci Putat, 0.09 at Kali Caringin, and 0.05 at Kali Angsana. NOF value indicated how accurate model's simulation which is allowed from 0-1 and 0 indicated perfect simulation. The expansion of residential area in Bojongsari and Sawangan Sub-district will cause nitrate concentration in these rivers increase.

Keywords: model, SWAT, watershed, nitrate concentration, landuse

PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir, banyak usaha yang telah dilakukan di seluruh dunia untuk mengatasi memburuknya lingkungan perairan akibat polutan

yang bersumber dari sumber-sumber yang berupa titik, maupun yang tersebar (Lam *et al.*, 2012). Sebagian besar penyebab dari menurunnya kualitas perairan sangat terkait dengan aktivitas pertanian dan pengembangan wilayah perkotaan

(Pisanaras *et al.*, 2008). Pengukuran dampak potensial terhadap lingkungan dari sumber-sumber polutan baik yang berupa titik maupun yang tersebar diperlukan untuk menjamin pembangunan yang berkelanjutan terhadap sumber daya seperti tanah dan air (Lam *et al.*, 2009). Untuk mendapatkan manajemen DAS yang dapat memberikan hasil yang baik, begitu pun untuk menggambarkan kondisi DAS saat ini, kondisi lingkungan yang beragam harus dievaluasi menggunakan model matematis, dalam upaya membuat simulasi dampak jangka pendek dan jangka panjang pada sistem perairan (Pisanaras *et al.*, 2008).

Kegiatan pertanian dan pengembangan wilayah perkotaan di Kota Depok dapat menjadi ancaman terhadap kualitas perairan setempat. Berdasarkan identifikasi dari peta penggunaan lahan tahun 2012 skala 1:25.000 yang diterbitkan oleh BPN, saat ini penggunaan lahan berupa wilayah pertanian umumnya tersebar di Kecamatan Bojongsari dan Sawangan. Pengembangan wilayah perkotaan pada akhirnya dapat menyebabkan konversi wilayah pertanian ini menjadi wilayah permukiman.

Terlebih laju kegiatan pengembangan wilayah perkotaan di Kota Depok relatif cepat karena berada dekat dengan Provinsi DKI Jakarta. Menurut Adnan (2003), laju berbagai kegiatan pembangunan yang disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk di kota metropolitan akan berakibat buruk pada kualitas perairan akibat mengalami eutrofikasi berat. Hal ini pada gilirannya dapat mengakibatkan kematian biota/ikan yang terdapat dalam perairan.

Merriam-Webster. Inc (1996) *dalam* Neitsch *et al.*, (2011) menyatakan eutrofikasi adalah proses ketika badan air menjadi kaya dengan nutrisi terlarut yang menstimulasi pertumbuhan tanaman perairan, sehingga menyebabkan pengurangan jumlah oksigen terlarut dalam air. Eutrofikasi erat kaitannya dengan konsentrasi nitrat dan fosfat dalam perairan. Menurut Bulloch *dalam* Adnan (2003), eutrofikasi telah meningkat di dunia, yaitu telah terjadi peningkatan unsur-unsur P dan N, dan unsur N yang merupakan *trigger* utama bagi terjadinya blooming.

Secara alami nitrat terbentuk dari sumber mineral dan kotoran hewan, dan secara antropogenik merupakan hasil sampingan dari kegiatan pertanian dan limbah rumah tangga (Masetti *et al.*, 2008). Madison dan Burnett (1985) dalam Masetti *et al.* (2008) menjelaskan bahwa sumber utama nitrat dalam sungai secara antropogenik berasal dari pemakaian pupuk, limbah peternakan (penggemukan sapi, susu, dan unggas), dan *septic tank*. Selain itu, Baker (1990) dalam Masetti *et al.* (2008) mengatakan bahwa konsentrasi nitrat dalam air sungai pada DAS dengan muka air tanah yang lebih dangkal akan lebih cepat meningkat tergantung kepada gerakan air dalam sungai dan jenis sumber nitrat.

Berdasarkan kenyataan di atas, konsentrasi nitrat dalam air sungai tergantung kepada penggunaan tanah pada DAS. DAS dengan penggunaan tanah dominan berupa wilayah pertanian, air sungainya dapat terkontaminasi oleh nitrat akibat penggunaan pupuk (pupuk kimia dan pupuk kandang). Sedangkan DAS dengan penggunaan tanah dominan berupa wilayah permukiman, air sungainya akan terkontaminasi oleh limbah dari rumah tangga, seperti sisa-sisa makanan, dan rembesan air dari *septic tank*. Beberapa studi menunjukkan bukti bahwa konsentrasi nitrat-nitrit dalam air sungai telah meningkat 10-350 kali lipat selama 50 tahun terakhir, yang berkorelasi erat dengan faktor antropogenik dan perubahan penggunaan tanah (Panno *et al.*, 2001; FDEP, 2009; Kwat, 2004; dan Katz *et al.*, 1999, 2009 *dalam* Badruzzaman *dkk.*, 2012).

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai model hidrologi telah diaplikasikan pada skala DAS untuk melakukan simulasi secara spasial terkait dengan proses-proses hidrologi dan kualitas air (Luo *et al.*, 2008). Beberapa model telah dikembangkan dan digunakan sejak tahun 1980 untuk membuat simulasi transformasi nitrogen (N), seperti SOILN (Johnsson *et al.*, 1987), WAVE (Vanclouster *et al.*, 1995), LEACHIN (Jabro *et al.*, 1995), CREAMS (Kinsel, 1980), atau perpindahan nitrat pada skala DAS, seperti ANSWER (Beasley *et al.*, 1980).

Banyak juga model yang dikembangkan untuk mempelajari dinamika dan interaksi keruangan nitrogen (N) pada skala DAS, dengan menggunakan beberapa tingkat kedetailan dan diskritisasi pola ruang dan waktu, seperti CATCHN (Cooper *et al.*, 1994), CWSS (Reiche, 1994), DAISY/MIKE-SHE (Styczen & Storm, 1993, Christiaenes & Feyen, 1997, dan Refsgaard *et al.*, 1999), NMS (Lunn *et al.*, 1996), SWAT (Arnold *et al.*, 1998), INCA (Whitehead *et al.*, 1998, Durand, 2004, dan Granlund *et al.*, 2004), SHETRAN (Birkinshaw & Ewen, 2000), TNT2 (Beaujouan *et al.*, 2002), dan DNMT (Liu *et al.*, 2005, dan Ferrant *et al.*, 2011).

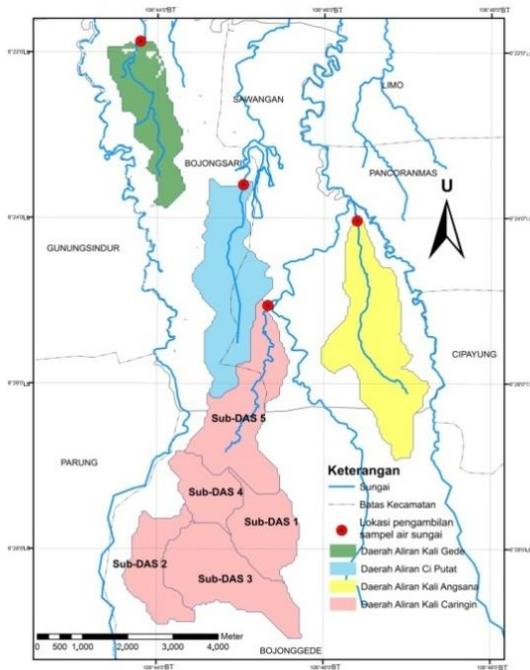
Pemilihan model yang tepat merupakan langkah yang sangat penting dalam mempelajari unsur nitrogen pada daerah aliran sungai karena terkait dengan perencanaan kegiatan penelitian dan jenis hasil yang akan dicapai dari model tersebut (Grizzetti *et al.*, 2005). Dalam penelitian ini SWAT digunakan karena dirancang untuk lebih fokus ke proses-proses yang melibatkan unsur nitrogen daripada proses-proses hidrologi (Ferrant *et al.*, 2011). Model SWAT secara ekstensif telah digunakan di Amerika Serikat dan dunia internasional untuk mempelajari debit sungai, hasil sedimen dan muatan nutrisi (Gassman *et al.*, 2007 *dalam* Luo *et al.*, 2008).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana hasil simulasi model SWAT terhadap persebaran konsentrasi nitrat dalam air sungai di Kecamatan Bojongsari dan Sawangan, Depok,

sehubungan dengan penggunaan lahan. Selain itu untuk membuat simulasi persebaran konsentrasi nitrat dalam air sungai di Kecamatan Bojongsari dan Sawangan, Depok, dengan skenario bahwa terjadi pengurangan luas wilayah pertanian karena beralih fungsi menjadi wilayah permukiman.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di 4 sungai yaitu, Kali Gede, Ci Putat, Kali Caringin, dan Kali Angsana, yang disajikan ke dalam 4 DAS, seperti yang disajikan pada **Gambar 1**. Kali Gede secara administrasi masuk ke dalam Kecamatan Bojongsari, sementara yang lainnya tersebar dalam Kecamatan Sawangan. Secara geografis, wilayah penelitian ini terletak antara 6,21° LS – 6,28° LS dan 106,42° BT – 106,48° BT.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Penggunaan lahan berupa sawah sebagian besar tersebar pada daerah aliran Kali Caringin. Sedangkan persentase luas sawah terhadap luas DAS terbesar terdapat pada daerah aliran Kali Gede. Selain pada daerah aliran Kali Gede dan Caringin, penggunaan sawah berupa sawah juga terdapat di daerah aliran Ci Putat dengan luasan kecil. DAS dalam penelitian ini yang tidak memiliki sawah sama sekali adalah daerah aliran Kali Angsana.

Selain sawah, penggunaan lahan dengan luasan yang signifikan adalah tegalan. Tegalan mendominasi penggunaan lahan pada masing-masing DAS, kecuali daerah aliran Kali Gede. Sementara jenis tanaman yang tumbuh pada tegalan tersebut diantaranya adalah singkong, jagung, pisang, kacang tanah, dan buah-buahan.

Penggunaan lahan dengan luasan yang besar setelah tegalan adalah wilayah permukiman.

Persentase luas penggunaan lahan berupa wilayah permukiman di setiap DAS adalah sekitar 30% dari luas masing-masing DAS. Umumnya wilayah permukiman yang terdapat pada masing-masing DAS adalah berupa perkampungan dengan susunan rumah-rumah yang tidak teratur. Akan tetapi, terdapat juga jenis permukiman berupa perumahan yang teratur dengan luasan yang tidak begitu besar.

Topografi DAS dalam penelitian ini adalah datar, dengan lereng sebagian besar wilayah adalah 0-2%. Sedangkan tekstur tanahnya adalah *clay*. Dengan demikian karakteristik DAS dalam penelitian ini adalah homogen dari segi topografi dan jenis tanah, dan heterogen dari segi penggunaan lahan.

Data yang Digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data sekunder yang didapatkan dari berbagai instansi, yaitu data kontur skala 1:25.000 tahun 1999 yang diterbitkan oleh Bakosurtanal, penggunaan lahan tahun 2012 skala 1:25.000 yang diterbitkan oleh BPN, data iklim harian (suhu, curah hujan, kecepatan angin, radiasi matahari, dan kelembaban udara relatif) dari stasiun cuaca BMKG yang berlokasi di 6.466°LS, 106.866°BT, dan peta tanah semi detail 1:50.000 tahun 1979 yang diterbitkan oleh Lembaga Penelitian Tanah. Sementara data primer dalam penelitian ini adalah konsentrasi nitrat dalam air sungai yang diambil selama bulan April tahun 2013 sebanyak 5-6 kali pengambilan di hari yang berbeda untuk mendapatkan konsentrasi nitrat rata-rata selama bulan April.

Konsentrasi nitrat berdasarkan simulasi model dinyatakan dalam mg/l yang dihitung dengan membagi jumlah nitrat yang masuk ke dalam sungai dalam sebulan dengan jumlah volume air sungai dalam satu bulan yang mengalir di titik lokasi pengambilan sampel.

Analisis SWAT

Untuk menjawab bagaimana simulasi model SWAT terhadap persebaran konsentrasi nitrat dalam air sungai di Kecamatan Bojongsari dan Sawangan sehubungan dengan penggunaan lahan, maka digunakan persamaan *root mean square error* (RMSE) seperti pada **Persamaan 1** dan *Normalized Objective Function* (NOF), seperti pada **Persamaan 2**. Menurut Kornecki *et al.*, dalam Pinaras *et al.* (2008), nilai yang ideal untuk NOF adalah 0,0. Akan tetapi, model masih dapat diterima jika nilai NOF berada dalam rentang 0,0-1,0.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \dots \dots \dots (1)$$

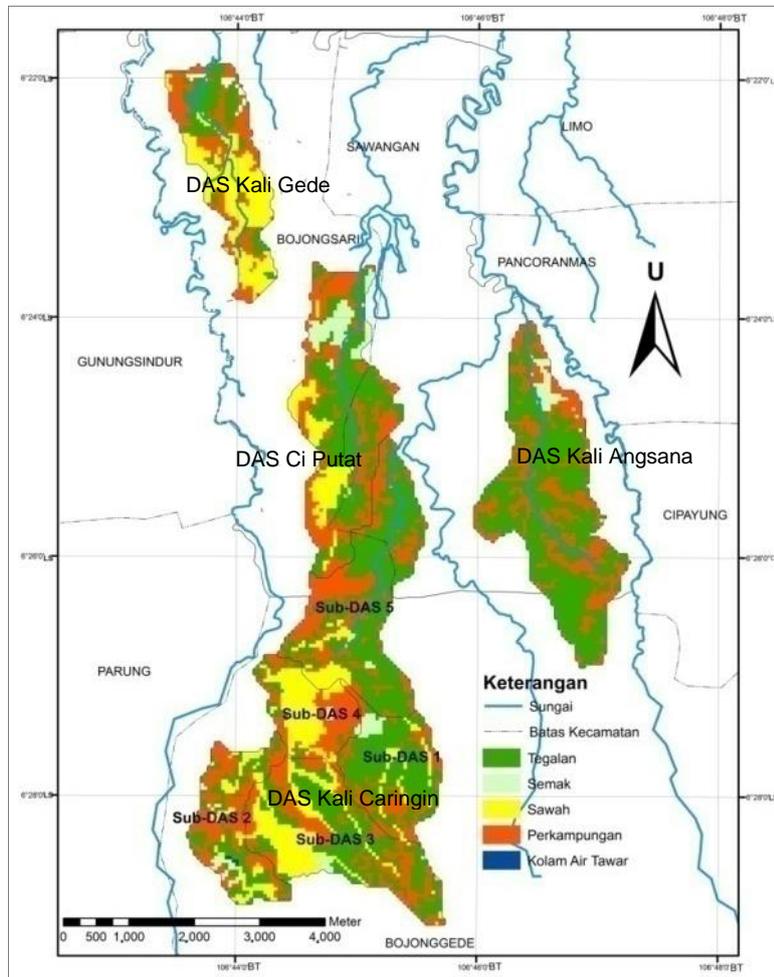
$$NOF = \frac{RMSE}{\bar{O}} \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

- Pi = nilai simulasi model
- Oi = nilai hasil observasi untuk N observasi
- \bar{O} = rata-rata nilai hasil observasi

Untuk mengetahui persebaran konsentrasi nitrat dalam air sungai jika terjadi perubahan penggunaan lahan, dengan skenario terjadi pengurangan luas wilayah pertanian karena berubah fungsi menjadi wilayah permukiman, maka

dilakukan dengan mengulangi proses simulasi model SWAT dengan mengurangi luas wilayah pertanian menjadi wilayah permukiman. Proses simulasi ini hanya dapat dilakukan jika model dapat menunjukkan hasil simulasi yang baik dengan nilai NOF berada pada rentang 0,0-1,0. Jika nilai NOF di luar dari rentang nilai tersebut, maka hasil simulasi model dalam melakukan *forecasting* tidak dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya.



Gambar 2. Peta Penggunaan Lahan Lokasi Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi konsentrasi nitrat dan validasi pengukuran langsung lapangan dapat dilihat dalam **Tabel 1**. Berdasarkan data pada **Tabel 1**, terlihat bahwa simulasi model untuk daerah aliran Kali Gede dan Kali Angsana cenderung lebih tinggi daripada keadaan yang sebenarnya. Sementara untuk daerah aliran Ci Putat dan Kali Caringin hasil simulasi model cenderung lebih rendah. Simulasi model tersebut dipengaruhi oleh akurasi informasi mengenai pemupukan pada DAS tersebut.

Hasil simulasi model yang lebih tinggi disebabkan oleh jumlah pemakaian pupuk yang diasumsikan pada model melebihi daripada apa yang terjadi di lapangan pada saat simulasi. Hal ini

bisa terjadi karena lahan pertanian pada saat dilakukan simulasi tidak sedang diusahakan. Sementara, simulasi model yang lebih rendah untuk daerah Ci Putat dan Kali Caringin adalah karena pemakaian pupuk yang lebih intensif daripada apa yang diasumsikan oleh model.

Kualitas air Kali Gede, Ci Putat, Kali Caringin, dan Kali Angsana untuk parameter nitrat masuk ke dalam kelas III atau IV menurut PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (10-20 mg/l). Kualitas air kelas III peruntukkannya adalah untuk budidaya ikan air tawar, peternakan, dan pertanian. Kualitas air kelas IV, peruntukkannya adalah untuk mengairi pertanian. Untuk mengetahui secara spesifik kualitas air

berdasarkan kelas mutu air menurut PP No. 82 Tahun 2001, maka perlu diketahui parameter kualitas air lainnya, seperti pH, BOD, COD, DO, Fosfat, dan lain-lain.

Tabel 1. Hasil simulasi model dan pengukuran langsung konsentrasi nitrat.

Sungai	Hasil Simulasi Model			Hasil Pengukuran Langsung (mg/l)	Rata-rata (mg/l)
	Debit (m ³ /s)	Total Nitrat (kg)	Konsentrasi Nitrat (mg/l)		
Kali Gede	0,13	5.626	16,38	11,07	13,51
				7,94	
				15,94	
				13,73	
				19,04	
				25,69	
Ci Putat	0,21	8.074	14,69	12,40	16,61
				7,08	
				19,04	
				15,06	
				20,37	
				9,74	
Kali Caringin	0,62	18.450	11,48	9,30	12,58
				15,50	
				11,07	
				17,27	
				8,41	
				14,61	
Kali Angsana	0,25	9.669	14,69	13,73	13,95
				10,63	
				19,49	
				16,83	
				16,83	

Berdasarkan berbagai variabel yang telah diatur sebelumnya, maka simulasi model SWAT terhadap debit rata-rata sungai pada bulan April adalah 0,13 m³/s. Sedangkan total nitrat yang masuk ke dalam sungai selama bulan April adalah 5.626 kg. Dengan demikian, konsentrasi rata-rata nitrat dalam air Kali Gede selama bulan April adalah 16,38 mg/l. Dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung konsentrasi rata-rata nitrat selama bulan April, yaitu 13,51 mg/l, maka nilai NOF untuk simulasi model di daerah aliran Kali Gede adalah 0,21.

Simulasi model untuk daerah aliran Ci Putat pada bulan April menghasilkan debit sebesar 0,21 m³/s. Sementara jumlah nitrat yang masuk ke sungai adalah 8.074 kg. Dengan demikian rata-rata konsentrasi nitrat dalam Ci Putat adalah pada bulan April adalah 14,69 mg/l. Dibandingkan dengan rata-rata konsentrasi nitrat hasil pengukuran langsung, yaitu 16,61 mg/l, maka nilai NOF untuk simulasi model di daerah aliran Ci Putat adalah 0,11.

Simulasi model pada bulan April di daerah aliran Kali Caringin menghasilkan debit sebesar 0,62 m³/s. Sementara jumlah nitrat yang masuk ke sungai adalah 18.450 kg. Dengan demikian konsentrasi rata-rata nitrat pada Kali Caringin pada bulan April adalah 11,48 mg/l. Dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung konsentrasi rata-rata nitrat pada bulan April, yaitu sebesar 12,58 mg/l, maka nilai NOF untuk simulasi model di daerah aliran Kali Kali Caringin adalah 0,09.

Simulasi model SWAT untuk daerah aliran Kali Angsana pada bulan April menghasilkan debit rata-rata yaitu sebesar 0,25 m³/s. Sementara total nitrat yang masuk ke sungai adalah sebesar 9.669 kg. Dengan demikian, konsentrasi rata-rata nitrat pada Kali Angsana selama bulan April adalah 14,69 mg/l. Dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung yaitu sebesar 13,95 mg/l, maka nilai NOF untuk simulasi model di daerah aliran Kali Angsana adalah 0,05.

Karakteristik DAS sehubungan dengan penggunaan lahan memberikan pengaruh terhadap konsentrasi nitrat, baik konsentrasi nitrat hasil simulasi model maupun hasil pengukuran langsung. Dari nilai konsentrasi nitrat hasil simulasi model dan pengukuran langsung yang telah dikemukakan sebelumnya, menunjukkan adanya variasi untuk masing-masing nilai tersebut pada DAS yang diteliti. Perbedaan yang dimaksud adalah terkait dengan besaran konsentrasi nitrat itu sendiri dan nilai NOF untuk setiap hasil simulasi model.

Ditinjau dari hasil simulasi model, karakteristik DAS sehubungan dengan penggunaan lahan yang memberikan hasil simulasi paling baik dalam penelitian ini adalah DAS dengan karakteristik penggunaan lahan yang didominasi oleh tegalan dan kebun. Sedangkan untuk DAS dengan karakteristik penggunaan lahan yang didominasi oleh sawah, hasil simulasi model tidak sebaik DAS dengan penggunaan lahannya didominasi oleh tegalan dan kebun. Meskipun demikian, simulasi model untuk DAS dengan penggunaan lahan dominannya adalah sawah masih menunjukkan hasil yang memuaskan.

Sehubungan dengan fluktuasi konsentrasi nitrat pada masing-masing DAS, selain dipengaruhi oleh pemakaian pupuk, dipengaruhi juga oleh curah hujan bulanan. Konsentrasi nitrat akan meningkat pada bulan-bulan ketika para petani memakai pupuk untuk lahan pertaniannya. Konsentrasi nitrat akan terus meningkat selama ada pergerakan air pada DAS mengangkut nitrat masuk ke dalam sungai. Penurunan konsentrasi nitrat dalam air sungai terjadi apabila nitrat yang terdapat dalam tanah telah berkurang karena secara terus-menerus terbawa oleh pergerakan air masuk ke sungai. Selain itu, konsentrasi nitrat dalam air sungai akan menurun pada bulan-bulan dengan curah hujan kecil. Jika masih terdapat nitrat dalam tanah dalam jumlah yang cukup besar pada bulan-bulan dengan curah hujan kecil, bulan-bulan berikutnya konsentrasi nitrat dalam air sungai akan kembali meningkat seiring dengan meningkatnya curah hujan.

Nilai konsentrasi nitrat yang didapat dari pengukuran langsung lapangan, menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat pada masing-masing sungai yang diteliti relatif sama. Meskipun pada DAS dengan luas yang lebih besar menghasilkan masukan nitrat dalam jumlah yang lebih besar dalam sungai, debit sungai pada DAS yang lebih

besar akan menjadi lebih besar pula. Dengan demikian, konsentrasi nitrat pada masing-masing DAS dengan luas yang berbeda memiliki nilai yang relatif sama.

Skenario perubahan penggunaan lahan yang digunakan dalam membuat simulasi persebaran konsentrasi nitrat dalam penelitian ini didasarkan pada asumsi bahwa terjadi perluasan wilayah permukiman dengan laju rata-rata 1,2% per tahun. Angka ini didapatkan dengan cara membandingkan peta penggunaan lahan tahun 2006 dengan 2012 skala 1:25.000 yang diterbitkan oleh BPN. Berdasarkan nilai tersebut, maka dibuat tiga skenario perluasan wilayah permukiman, masing-masing dalam rentang 10 tahun. Dengan demikian, simulasi konsentrasi nitrat yang akan dibuat adalah untuk tahun 2022, 2032, dan 2042. Pada tahun 2022 luas wilayah permukiman akan menjadi sekitar 40%, tahun 2032 akan menjadi sekitar 50%, dan pada tahun 2042 akan menjadi sekitar 60% dari luas masing-masing DAS.

Perluasan wilayah permukiman dilakukan dengan melakukan editing terhadap peta penggunaan lahan tahun 2012 yang menjadi input data penggunaan lahan untuk kondisi saat ini. Perluasan wilayah permukiman diasumsikan terjadi dengan lebih mengarah ke jenis penggunaan lahan berupa semak dan tegalan. Selain itu, perluasan wilayah permukiman juga berdasarkan kepada asumsi bahwa jenis penggunaan lahan berupa semak dan tegalan yang diprioritaskan untuk beralih fungsi menjadi wilayah permukiman adalah semak dan tegalan yang persebarannya paling dekat dengan wilayah permukiman.

Asumsi perluasan wilayah permukiman yang mengarah ke jenis penggunaan lahan berupa semak dan tegalan, terlebih yang tersebar paling dekat ke wilayah permukiman, karena kondisi tanahnya kering sehingga lebih mudah untuk dikonversi menjadi wilayah permukiman dibandingkan dengan sawah. Meskipun ada pula kecenderungan alih fungsi sawah oleh para pengembang di bidang perumahan/properti menjadi wilayah permukiman karena harga tanahnya lebih murah. Mengemukannya isu tentang penyelamatan wilayah persawahan terutama yang beririgasi teknis dianggap akan menyebabkan kecenderungan itu akan menurun. Kewajiban melindungi lahan pertanian telah diatur dalam Republik Indonesia (2009). Dengan demikian, Kota Depok wajib merumuskan Peraturan Daerah (Perda) yang dapat mencegah terjadinya penyusutan lahan pertanian berkelanjutan, yang dalam hal ini adalah wilayah persawahan.

Simulasi konsentrasi nitrat untuk skenario tahun 2022, 2032 dan 2042, masing-masing secara berurutan disajikan pada **Tabel 2**, **Tabel 3** dan **Tabel 4** dan secara grafis diperlihatkan pada

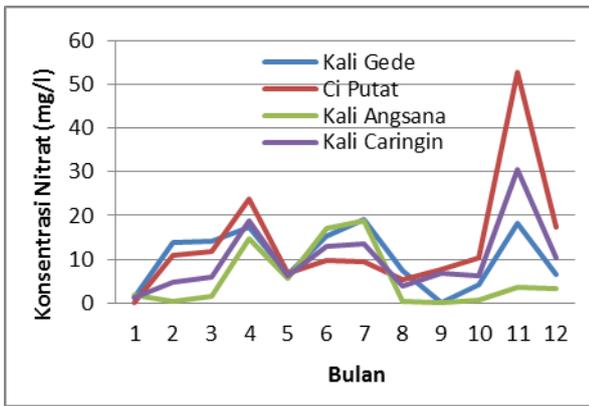
Gambar 3, **Gambar 4** dan **Gambar 5**. Konsentrasi nitrat hasil simulasi model yang tertera dalam tabel dan gambar tersebut, menunjukkan bahwa kualitas air sungai berdasarkan parameter konsentrasi nitrat menjadi lebih buruk jika wilayah permukiman menjadi lebih luas dari sekarang. Pola konsentrasi nitrat pada ketiga simulasi hampir serupa, dimana pada bulan 1 hingga 5 mengalami kenaikan, dan terjadi penurunan pada bulan 5, kemudian naik lagi hingga bulan 9, dan terjadi kenaikan yang signifikan pada bulan 11, kenaikan ini secara umum terjadi setiap kuartal pada setiap simulasinya.

Simulasi tahun 2022, konsentrasi nitrat tinggi dimiliki oleh DAS Ci Putat, namun pada kuartal kedua dimiliki oleh DAS Kali Gede dan kembali lagi ke DAS Ci Putat. Begitu juga untuk tahun 2032, konsentrasi tertinggi pada kuartal pertama dan ketiga dimiliki oleh DAS Kali Angsana, kuartal kedua oleh DAS Kali Gede. Untuk tahun 2042, kondisinya sama dengan simulasi tahun 2032, dimana DAS Kali Angsana memiliki konsentrasi nitrat tertinggi pada kuartal pertama dan ketiga, dan pada kuartal kedua dimiliki oleh DAS Kali Gede. Pada ketiga simulasi untuk kuartal kedua selalu dimiliki oleh DAS Kali Gede. Hal ini menunjukkan bahwa dalam jarak 10 tahunan, perubahan konsentrasi nitrat tidak mengalami perubahan yang drastis, hanya berubah ke dalam waktu saja.

Berdasarkan Republik Indonesia (2001) dinyatakan bahwa air dengan konsentrasi nitrat lebih dari 20 mg/l lebih buruk daripada kualitas air kelas IV, yang merupakan kelas air paling buruk yang diperuntukkannya hanya untuk mengairi pertanian. Dengan demikian, air dengan konsentrasi nitrat di atas 20 mg/l tidak baik diperuntukkan untuk kegiatan pertanian, peternakan, budidaya ikan air tawar, sarana-prasarana rekreasi, apalagi untuk air baku air minum. Untuk itu, perlu dilakukan upaya konservasi untuk menghindari konsentrasi nitrat yang melebihi batas toleransi agar dapat dimanfaatkan untuk keperluan-keperluan tersebut.

Tabel 2. Simulasi Konsentrasi Nitrat tahun 2022.

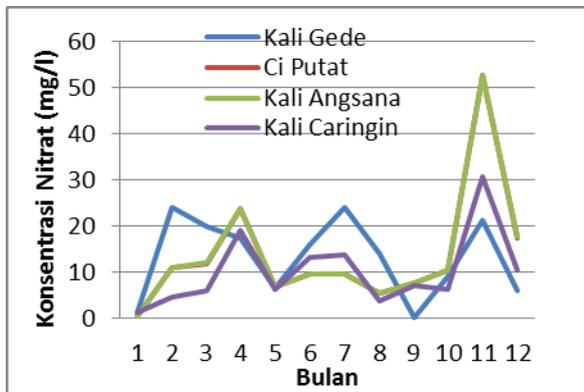
Bulan	Konsentrasi Nitrat (mg/l)			
	Kali Gede	Ci-Putat	Kali Caringin	Kali Angsana
1	1,30	0,26	1,18	1,91
2	13,74	10,96	4,69	0,32
3	14,25	11,90	6,07	1,50
4	17,50	23,68	18,92	14,68
5	6,54	6,88	6,14	5,69
6	15,46	9,68	13,09	16,94
7	19,10	9,57	13,62	18,74
8	7,50	5,49	3,81	0,53
9	0,00061	7,64	6,97	0
10	4,27	10,41	6,36	0,83
11	18,31	52,69	30,62	3,78
12	6,44	17,49	10,45	3,26



Gambar 3. Simulasi Kosentrasi Nitrat tahun 2022.

Tabel 3. Simulasi Konsentrasi Nitrat tahun 2032.

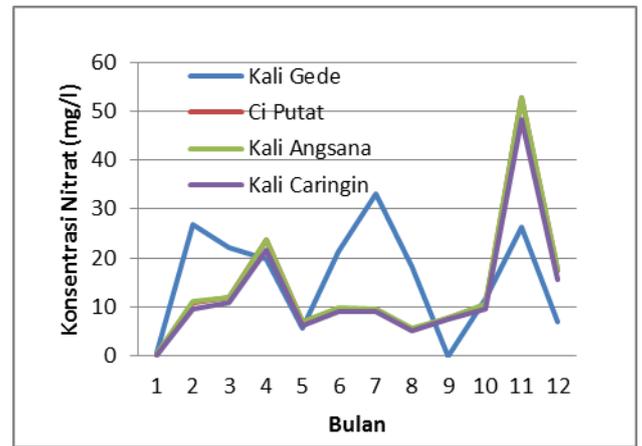
Bulan	Konsentrasi Nitrat (mg/l)			
	Kali Gede	Ci Putat	Kali Caringin	Kali Angsana
1	1,34	0,26	1,18	0,30
2	24,03	10,96	4,69	11,03
3	19,87	11,90	6,07	11,95
4	17,28	23,68	18,92	23,69
5	6,39	6,88	6,14	6,90
6	15,88	9,68	13,09	9,70
7	24,00	9,57	13,62	9,59
8	13,93	5,49	3,81	5,51
9	0,003	7,64	6,97	7,65
10	9,15	10,41	6,36	10,47
11	21,36	52,69	30,62	52,76
12	5,89	17,49	10,45	17,55



Gambar 4. Simulasi kosentrasi nitrat tahun 2032.

Tabel 4. Simulasi Konsentrasi Nitrat Tahun 2042.

Bulan	Konsentrasi Nitrat (mg/l)			
	Kali Gede	Ci-Putut	Kali Caringin	Kali Angsana
1	0,59	0,26	0,17	0,30
2	26,77	10,96	9,56	11,03
3	22,17	11,90	10,79	11,95
4	19,64	23,68	21,57	23,69
5	5,56	6,88	6,05	6,90
6	21,41	9,68	8,99	9,70
7	32,98	9,57	9,01	9,59
8	18,30	5,49	5,09	5,51
9	0,004	7,64	7,33	7,65
10	11,66	10,41	9,62	10,47
11	26,17	52,69	48,28	52,76
12	7,04	17,49	15,59	17,55



Gambar 5. Simulasi konsentrasi nitrat tahun 2042.

Karakteristik topografi DAS dalam penelitian ini yang relatif homogen menyebabkan hasil simulasi model masih valid meskipun masih menggunakan data kontur peta RBI skala 1:25.000 dengan interval kontur 12,5 meter. Pada penelitian berikutnya, terutama dengan karakteristik DAS dengan topografi yang heterogen harus menggunakan DEM (*Digital Elevation Model*) yang lebih akurat misalnya dengan DEM Terasar-X.

KESIMPULAN

Model SWAT dapat dengan baik memberikan simulasi persebaran konsentrasi nitrat dalam air sungai dengan karakteristik DAS yang homogen dari segi topografi dan jenis tanah, sedangkan heterogen dari segi penggunaan lahan. Karakteristik penggunaan lahan yang berbeda mempengaruhi konsentrasi nitrat baik hasil pengukuran langsung begitupun dengan simulasi model. Karakteristik DAS dengan hasil simulasi model paling baik adalah DAS dengan penggunaan lahan dominannya adalah kebun dan tegalan.

Dengan skenario perubahan penggunaan lahan, yaitu luas wilayah permukiman menjadi semakin luas hingga dua kali lebih luas dari kondisi saat ini, akan terjadi peningkatan konsentrasi nitrat dalam air sungai sehingga kualitas air sungai berdasarkan parameter konsentrasi nitrat menjadi buruk sehingga tidak baik diperuntukkan untuk keperluan pertanian sekali pun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada para pembimbing: Dr.rer.nat. Eko Kusratmoko dan Dr. Tito Latif Indra, serta kepada Dr. Djoko Harmantyo, Sobirin, M.Si, Dr. Tarsoen Waryono, dan Emiyati, M.Si yang telah memberikan saran atau masukan untuk menyempurnakan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adnan, Q. (2003). *Eutrofikasi dan Akibatnya bagi kehidupan di Perairan Indonesia Alternatif Dampak berbagai Kegiatan Pembangunan Kota Metropolitan*. Pusat Penelitian Oseanografi (P2O),

- Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Jakarta.
- Badruzzaman, Mohammad., Pinzon, Jimena., Oppenheimer, Joan., dan Jacangelo, Joseph. G. (2012). Sources of nutrients impacting surface waters in Florida: A review. *Journal of Environmental Management* 109, 80-92.
- Ferrant, S., Oehler, F., Durand, P., Ruiz, L., Salmon-Monviola, J., Justes, E., ... & Sanchez-Perez, J. M. (2011). Understanding nitrogen transfer dynamics in a small agricultural catchment: Comparison of a distributed (TNT2) and a semi distributed (SWAT) modeling approaches. *Journal of hydrology*, 406(1), 1-15.
- Grizzetti, B., Bouraoui, F., & De Marsily, G. (2005). Modelling nitrogen pressure in river basins: A comparison between a statistical approach and the physically-based SWAT model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30(8), 508-517.
- KLH. (2011). Laporan Pengkajian Kriteria Mutu Air Lampiran PP. No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan Deputi Bidang Pembinaan Sarana Teknis Lingkungan dan Peningkatan Kapasitas Kementerian Lingkungan Hidup. Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). Serpong.
- Lam, Q. D., Schmalz, B., & Fohrer, N. (2010). Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. *Agricultural Water Management*, 97(2), 317-325.
- Lam, Q. D., Schmalz, B., & Fohrer, N. (2012). Assessing the spatial and temporal variations of water quality in lowland areas, Northern Germany. *Journal of Hydrology*, 438, 137-147.
- Luo, Y., Zhang, X., Liu, X., Ficklin, D., & Zhang, M. (2008). Dynamic modeling of organophosphate pesticide load in surface water in the northern San Joaquin Valley watershed of California. *Environmental Pollution*, 156(3), 1171-1181.
- Masetti, M., Poli, S., Sterlacchini, S., Beretta, G. P., & Facchi, A. (2008). Spatial and statistical assessment of factors influencing nitrate contamination in groundwater. *Journal of environmental management*, 86(1), 272-281.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., dan Williams, J.R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Texas A & M University System. Texas.
- Republik Indonesia (2001). *Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pemcemaran Air*.
- Republik Indonesia (2009). *Undang-Undang No. 41 Tahun 2009 tentang Perlindungan Lahan Pertanian Berkelanjutan*.