

STATUS KUALITAS AIR DAN UPAYA KONSERVASI SUMBERDAYA LAHAN DI DAS CITARUM HULU, KABUPATEN BANDUNG

Water Quality Status and Land Use Conservation Effort in the Upper Citarum Watershed, Bandung Regency

Muhammad Widyar Rahman^a, Muhammad Yanuar Jarwadi Purwanto^b dan Suprihatin^c

^a Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

^b Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

^c Departemen Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Abstract. Relationships between water quality and catchment characteristics are examined for rivers in the Upper sub Watersheds of Citarum using a GIS-based approach. The study aimed to analyze the relationship of type of land cover and water quality parameters in response to surface runoff. The multiple linear regression model was evaluated to demonstrate the relationship between the both variables. Stepwise multiple linear regressions demonstrated that agriculture and settlement land cover type was able to describe the overall water quality status. Physico-chemicals of water quality parameters could be sufficiently predicted using one land use/land cover type. Stepwise regression results showed that paddy field were significantly related to pH, DO, BOD and COD. Forest related significantly to TDS and temperature in dry periods. Water quality parameters over the period of the rainy seasons including agricultural related significantly to temperature, BOD, COD, TP and H₂S. Nitrite and TDS had relationship with settlement and paddy field had relationship with pH and TSS. Moreover, only forest had relationship with DO in wet periods. The overall statistically relationships were significant in $p < 0.05$. This research provides perspective relationship between water quality and land cover types which is an important factor for the water resources conservation in the management plans.

Keywords: water quality, land cover, surface runoff, stepwise linear regressions, water resources conservation

(Diterima: 19-03-2014; Disetujui: 17-06-2014)

1. Pendahuluan

Pemulihan kualitas air sebagai bagian dari pengendalian sumberdaya air dilakukan untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu peruntukannya. Pengendalian bahan pencemar yang berasal dari berbagai sumber pencemar yang masuk ke dalam sumber air dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi intrinsik sumber air dan baku mutu air yang ditetapkan. Pencemaran sungai dapat terjadi langsung dari *outfalls* saluran pembuangan atau limbah industri sebagai *point source* dan limpasan dari pertanian atau perkotaan sebagai *non-point source*. Dampak polutan pada kualitas air sungai tergantung pada jenis polutan, beban maksimum hariandan karakteristik sungai (Karamouz *et al.* 2003).

Pencemaran *non-point source* merupakan tantangan besar karenasumber yangtersebardan bervariasi terhadap musimdan cuaca, serta sumber ini sering diabaikan oleh manusia (Zhang & Wang 2012). Faktor pertumbuhan ekonomi dan peningkatan produksi sumber pangan menjadi dasar manusia mengabaikan kualitas lingkungan. Dilema perubahan proporsi luas dan jenis penggunaan lahan di suatu daerah aliran sungai akan mempengaruhi kualitas air. Beberapa fungsi lanskap memiliki manfaat yang benar-benar

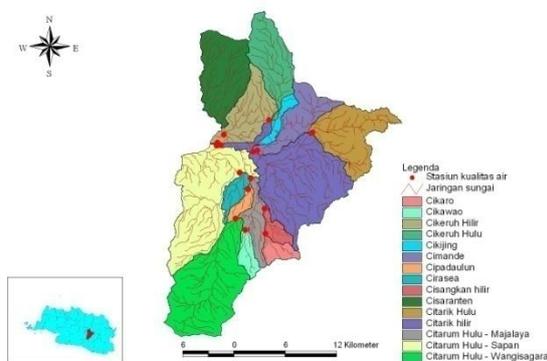
penting bagi manusia terutama terkait dengan ketersediaan sumber daya alam dan jasa ekosistem, seperti sumber pangan, tempat tinggal, dan sumberdaya air. Beberapa fungsi tersebut dapat sinergis, dan beberapa fungsi tersebut juga dapat merugikan atau bahkan menjadi sumber konflik. Beberapa fungsi yangsecara spasial dan temporal terpisah dapat menjadi efektif di lokasi yang sama pada waktu yang sama. (Bolliger *et al.* 2011).

Penelitian ini membangun target indikator melalui analisis keterkaitan perilaku penggunaan lahan dan kualitas air menggunakan hubungan statistik. Analisis sistem hidrologi dilakukan dengan menggambarkan kondisi biofisik DAS dalam proses transformasi hidrologi. Pemilihan jenis model diperlukan untuk menentukan model yang paling sesuai dengan keadaan DAS sehingga dapat membantu mengajukan suatu strategi pengelolaan daerah aliran sungai yang berkelanjutan serta dampak potensial yang ditimbulkan dari perilaku penggunaan lahan terhadap penurunan kualitas lingkungan.

2. Metodologi

2.1. Lokasi Penelitian

Wilayah DAS Citarum hulu berada pada koordinat $107^{\circ}38'16.8''-107^{\circ}56'42''$ BT dan $6^{\circ}57'14.4''-7^{\circ}13'19.2''$ LS. Wilayah DAS Citarum Hulu meliputi 3 skala wilayah sub DAS, yaitu Citarum hulu, Citarik dan Cikeruh (Gambar 1). Aliran sungai yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah sungai Citarum hingga ruas Sapan dan anak sungainya yaitu Cirasea, Cisangkan, Cikaro, Cikawao dan Cipadaulun. Sungai Citarik dan anak sungainya yaitu sungai Cikijing dan sungai Cimande serta sungai Cikeruh dan anak sungainya yaitu sungai Cisaranten. DAS Citarum hulu secara umum memiliki ketinggian yang bervariasi dari dataran menuju perbukitan (650 – 1800 mdp) dengan curah hujan yang berkisar 1000-3500 mm/tahun.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Topografi sebagian besar wilayah tengah hingga hilirnya berupa dataran dengan kelas kemiringan lahan < 8%. Proporsi kelas kemiringan lahan < 8% tertinggi berada di wilayah sub DAS Citarum hulu sebesar 16.5% dari total wilayah studi. Wilayah hulu hingga bagian tengah berada pada kelas kemiringan lereng yang bervariasi > 8%. Dominasi kelas kemiringan lereng wilayah hulu hingga tengah berada pada sekitar 15-25%.

Wilayah studi di DAS Citarum hulu meliputi 10 kelas penggunaan lahan. Pola penggunaan lahan di wilayah ini terdiri atas hutan (hutan lahan primer, hutan lahan sekunder dan Hutan Tanaman Industri), pertanian (pertanian lahan kering, pertanian lahan kering bercampur semak), permukiman, sawah, semak/belukar, perkebunan dan tanah terbuka. Fungsi sungai di wilayah ini mendukung beragam aktivitas seperti irigasi, kebutuhan air domestik, perikanan, dan rekreasi. Peran vital tersebut memerlukan upaya kontinuitas perbaikan dengan mengintegrasikan konservasi sumberdaya air dalam perencanaannya dan menyelidiki faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas aliran sungai agar air dapat memadai baik dari aspek kualitas, kuantitas maupun kontinuitasnya.

2.2. Data yang Digunakan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu data pemantauan kualitas air tahun 2008-2011 yang bersumber dari BLHD Provinsi Jawa Barat dan BLHD Kabupaten Bandung, peta rupa bumi, peta DEM (*Digital Elevation Model*) resolusi 30 meter yang bersumber dari SRTM, peta penggunaan lahan (*landuse*) tahun 2000, 2009 dan 2011 yang bersumber dari BAPLAN.

2.3. Metode Analisis Data

a. Penentuan Status Kualitas Air

Penentuan status kualitas air dengan metode STORET atau indeks pencemaran air berdasarkan KepMen LH No. 115/2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Penentuan status mutu air dengan menggunakan metoda STORET dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Lakukan pengumpulan data kualitas air dan debit air secara periodik sehingga membentuk data dari waktu ke waktu (*time series data*).
2. Bandingkan data hasil pengukuran dari masing-masing parameter air
3. Jika hasil pengukuran memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran < baku mutu) maka diberi skor 0.
4. Jika hasil pengukuran tidak memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran > baku mutu), maka diberi skor sesuai dengan.
5. Jumlah negatif dari seluruh parameter dihitung dan ditentukan status mutunya dari jumlah skor yang didapat dengan menggunakan sistem nilai.

Sistem nilai yang digunakan berdasarkan US-EPA (*Environmental Protection Agency*) dan mengklasifikasikan mutu air tersebut dalam empat kelas, yaitu:

- 1) Kelas A : baik sekali, skor = 0 → memenuhi baku mutu
- 2) Kelas B : baik, skor = -1 s/d -10 → cemar ringan
- 3) Kelas C : sedang, skor = -11 s/d -30 → cemar sedang
- 4) Kelas D : buruk, skor ≥ -31 → cemar berat

b. Delineasi Sub DAS

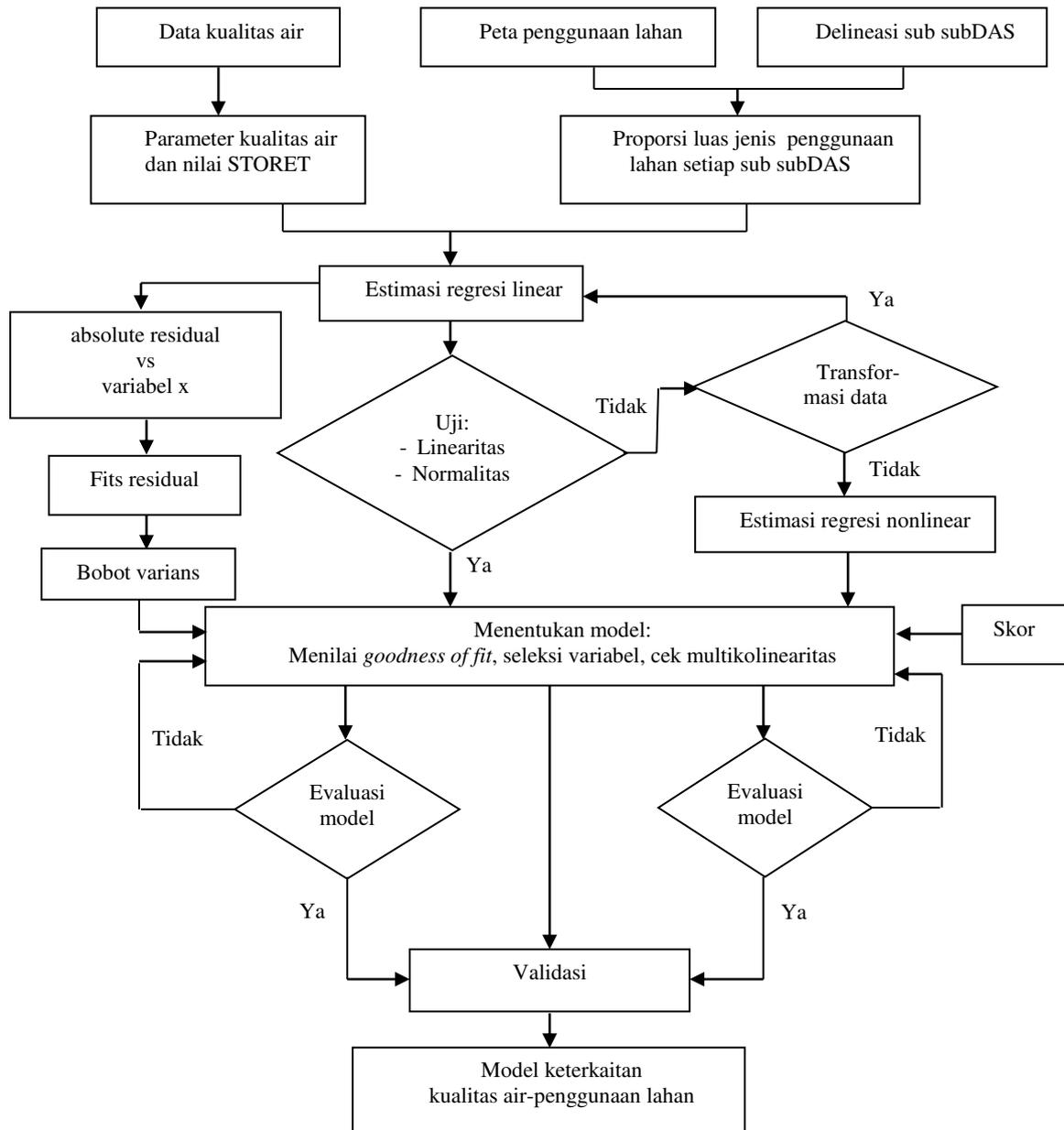
Wilayah DAS Citarum hulu ditentukan menggunakan data DEM resolusi 30m dengan perangkat lunak *Global Mapper v13.00*. Perangkat lunak ini memberikan informasi hidrologis berupa visualisasi jaringan sungai, DAS dan Daerah Tangkapan Air (DTA). Hasil visualisasi tersebut disesuaikan dengan peta jaringan pemantauan kualitas air dari BLHD Kabupaten Bandung. Hasil delineasi sub DAS diperoleh 15 sub subDAS dan jaringan sungainya. Stasiun pemantauan yang ditentukan hanya berada di bagian hilir sub subDAS sebagai outlet sungainya. Data model sub subDAS tersebut kemudian dilakukan proses *overlay* terhadap peta penggunaan lahan. Hasilnya diperoleh 15 sub subDAS dengan masing-masing terdiri atas variasi luas jenis penggunaan lahan dan

titik pantauan kualitas air pada setiap outlet sungainya. Prosedur ini menggunakan perangkat lunak *ArcGIS 10.0*.

c. Analisis Keterkaitan Penggunaan Lahan Terhadap Kualitas Air

Karakteristik spasial penggunaan lahan pada penelitian ini menggunakan peta penggunaan lahan tahun 2000 dan 2011. Analisis statistik keterkaitan penggunaan lahan terhadap kualitas air menggunakan peta penggunaan lahan tahun 2009 dan 2011. Klasifikasi satuan jenis penggunaan lahan berdasarkan kodefikasi BAPLAN yang terdiri atas 10 kelas lahan. Klasifikasi suatu jenis penggunaan lahan tersebut

meliputi Hutan Lahan Primer (HLP), Hutan Lahan Sekunder (HLS), Hutan Tanaman Industri (HTI), Pertanian Lahan Kering (PLK), Pertanian Lahan Kering bercampur Semak (PLKS), Permukiman, Sawah, Perkebunan, Semak/Belukar, dan Tanah Terbuka. Klasifikasi satuan jenis penggunaan lahan tersebut dikelompokkan menjadi hutan, permukiman, pertanian dan sawah untuk penyederhanaan variabel dalam membangun model statistik. Analisis statistik keterkaitan penggunaan lahan terhadap kualitas air dilakukan berdasarkan tahapan pada Gambar 2.



Gambar 1. Skema analisis statistik keterkaitan kualitas air terhadap jenis penggunaan lahan

d. Diagnostik

Analisis regresi berganda bergantung pada beberapa asumsi yaitu linearitas, normalitas dan multikolinearitas hubungan antara variabel bebas dan terikat. Asumsi linearitas jika residual (nilai aktual dikurangi nilai prediksi) terdistribusi diatas dan dibawah nol ketika diplotkan terhadap nilai prediksi. Asumsi multikolinearitas terpenuhi jika diindikasikan dengan nilai VIF < 10 (Helsel & Hirsch 2002). Asumsi normalitas terpenuhi jika nilai *p value* > 0.05. Transformasi data dilakukan terhadap parameter kualitas air dengan pertimbangan simplifikasi hubungan, stabilisasi varians dan memenuhi asumsi distribusi normal.

e. Data Pengembangan Model

Metode regresi berganda digunakan untuk menganalisis keterkaitan 13 parameter kualitas air dan nilai STORET terhadap proporsi luas jenis perilaku penggunaan lahan. Parameter kualitas air yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu pH, TDS, TSS, temperatur, DO, BOD, COD, total fosfat, NO₂⁻, NO₃⁻, fenol, H₂S dan total coliform. Data pemantauan kualitas air wilayah sub DAS Citarum hulu, Citarik dan Cikeruh tahun 2009 digunakan untuk pengembangan model. Data pemantauan pada bulan Oktober-Maret digunakan sebagai data pengembangan model musim basah, sedangkan data pemantauan yang masuk pada bulan April-September digunakan sebagai data pengembangan model musim kering. Wilayah sub DAS Citarum hulu dibagi menjadi 8 sub subDAS yaitu Citarum-Wangisagara, Citarum-Majalaya, Citarum-Sapan, Cirasea, Cisangkan, Cikaro, Cikawao dan Cipadaulun. Wilayah sub DAS Citarik dibagi menjadi 4 sub subDAS yaitu Citarik hulu, Citarik hilir, Cimande, dan Cikijing. Wilayah sub DAS Cikeruh dibagi menjadi 3 sub subDAS yaitu Cikeruh hulu, Cikeruh hilir dan Cisaranten.

f. Model Regresi Berganda

Analisis statistik untuk membangun model keterkaitan penggunaan lahan terhadap kualitas air menggunakan metode *stepwise regression*. Prosedur *stepwise* merupakan metode pemilihan model di mana algoritma komputer menentukan model mana yang lebih disukai. Prosedur ini menggunakan urutan parsial F atau uji t untuk mengevaluasi signifikansi variabel. Setiap tahap model dievaluasi agar tidak terjadi redundansi. Salah satu metode yang dilakukan dengan memberikan nilai pembobotan terhadap setiap model. Berthouex & Brown (2002) menjelaskan bahwa regresi terboboti (*weighted regression*) digunakan

untuk menyesuaikan model regresi ketika varians dari respon *y* tidak konstan. Jika pembobotan berdasarkan varians tersebut tidak terpenuhi maka nilai bobot menggunakan skor jumlah sampel. Ketika hubungan linear menunjukkan tingkat perubahan konstan dan memungkinkan tidak mewakili hubungan yang nyata secara memadai maka model linear paling sederhana yang melibatkan satu variabel bebas menggunakan model polinomial orde kedua (kuadratik) (Rawlings *et al.* 1998). Kriteria model akhir yang dipilih atas dasar signifikansi uji F pada *p-value* < 0.05. Signifikansi koefisien model dan residual yang terdistribusi normal dianggap sebagai kriteria tambahan dalam memilih model akhir (Amiri & Nakane 2009). Analisis model regresi berganda ini selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2 dan tahapan analisis secara keseluruhan menggunakan perangkat lunak MINITAB 16.

g. Data Validasi Model

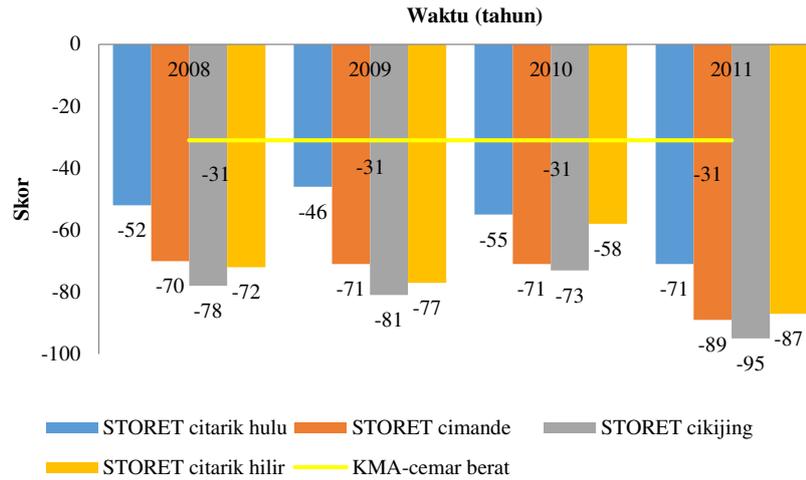
Data pemantauan kualitas air tahun 2011 di wilayah Citarum-Wangisagara digunakan sebagai titik validasi model. Validasi model menggunakan nilai rata-rata diantara 13 parameter kualitas air yang terpilih sebagai model. Validasi model ditentukan berdasarkan nilai persentase bias antara nilai aktual dan model.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Kualitas Air

a. Sub-DAS Citarik

Sungai-sungai yang dipantau di wilayah sub DAS Citarik apabila dibandingkan dengan baku mutu kelas II berada pada status tercemar berat mulai dari wilayah hulu hingga hilir sungai. Nilai status mutu tersebut memiliki kecenderungan menurun hingga tahun 2011 (Gambar 3). Parameter-parameter kualitas air secara keseluruhan berkontribusi terhadap menurunnya status mutu air. Beberapa parameter yang berkontribusi besar di wilayah hulu Citarik diantaranya TSS, BOD, COD dan total coliform. Kontribusi penurunan kualitas juga bersumber dari anak sungai Citarik yaitu Cimande dan Cikijing yang sangat berperan terhadap peningkatan konsentrasi parameter tersebut di wilayah tengah sungai Citarik. Hasil pemantauan 13 parameter kualitas air di stasiun pantau bagian hilir Cimande dan Cikijing menunjukkan secara keseluruhan parameter-parameter terkait berada diatas baku mutu yang ditetapkan. Hal ini menjadi salahsatu penyebab meningkatnya konsentrasi parameter-parameter kualitas air di wilayah hilir Citarik.



Gambar 3. Status kualitas air sungai Citarik dan anak-anak sungainya

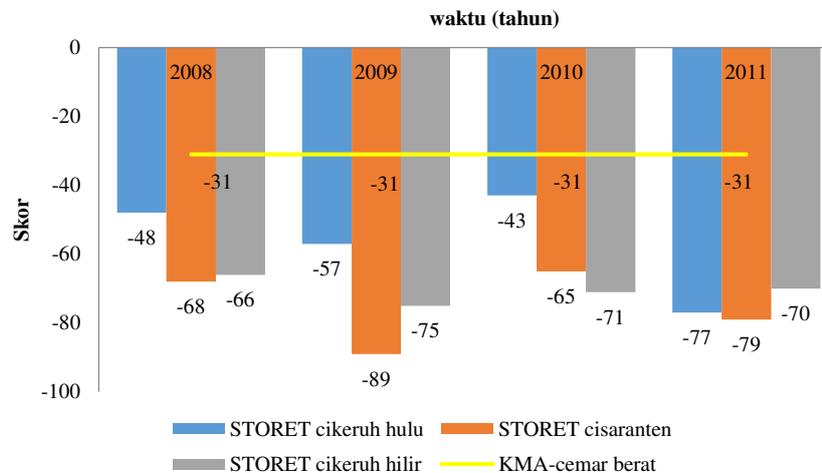
b. Sub DAS Cikeruh

Parameter-parameter kualitas air di wilayah sub DAS Cikeruh apabila dibandingkan dengan baku mutu kelas II berada pada status tercemar berat. Parameter-parameter kualitas air di wilayah ini secara keseluruhan berkontribusi terhadap menurunnya status mutu air. Nilai status mutu tersebut relatif stabil pada kisaran nilai status mutu 65-90 hingga tahun 2011 (Gambar 4). Beberapa parameter yang berkontribusi besar di wilayah Cikeruh ini diantaranya TSS, BOD, COD dan total coliform. Kontribusi penurunan kualitas juga bersumber dari anak sungai Cikeruh yaitu Cisaranten yang sangat berperan terhadap peningkatan konsentrasi parameter tersebut di wilayah tengah sungai Cikeruh. Hasil pemantauan 13 parameter kualitas air di stasiun pantau bagian hilir Cikeruh menunjukkan secara keseluruhan parameter-parameter terkait berada diatas baku mutu yang ditetapkan. Hal ini menjadi salahsatu penyebab meningkatnya konsentrasi

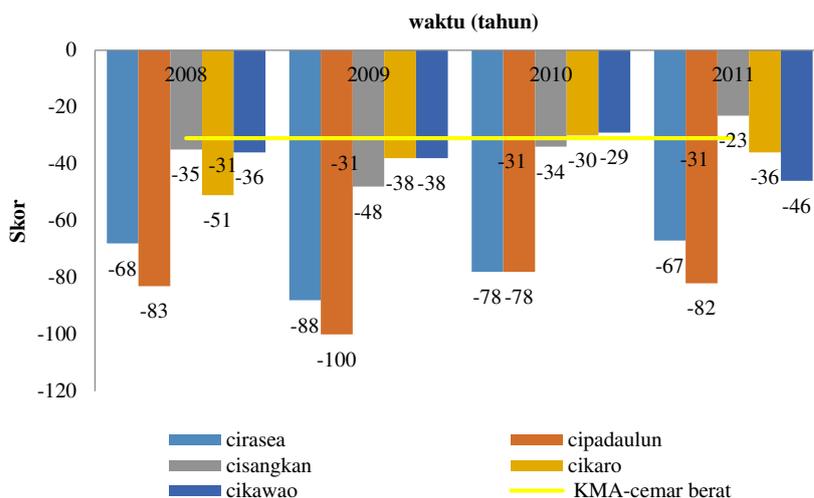
parameter-parameter kualitas air di wilayah hilir Cikeruh.

c. Sub DAS Citarum Hulu

Sungai Citarik dan Cikeruh bermuara di sungai Citarum sebagai sungai utama. Kedua sungai ini bermuara pada wilayah yang sangat berdekatan sehingga titik pantau di wilayah Sapan ini sangat berguna untuk mengetahui kontribusi kualitas air kedua sungai ini terhadap sungai Citarum. Status mutu sungai Citarum di wilayah Sapan berada pada status cemar berat. Kontribusi anak sungai di sub DAS Citarum hulu yang ditentukan pada penelitian ini adalah Cirasea, Cikaro, Cikawao dan Cipadaulun. Status mutu anak-anak sungai Citarum di sub DAS Citarum hulu ini sebagaimana tercantum pada Gambar 5 menunjukkan berada pada kondisi cemar berat. Dalam rentang waktu 4 tahun, terlihat tidak menunjukkan kecenderungan kearah yang lebih baik.



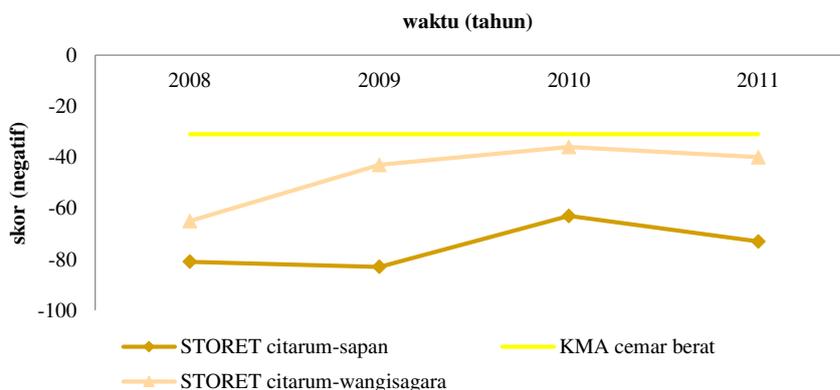
Gambar 4. Status kualitas air sungai Cikeruh dan anak sungainya



Gambar .5 Status kualitas air anak-anak sungai Citarum di sub DAS Citarum hulu

Kontribusi sungai Citarik di bagian hilir, nilai status mutunya berada pada kisaran 50-90. Sedangkan, sungai Cikeruh di bagian hilir, nilai status mutunya berada pada kisaran 65-80. Hal ini memberikan nilai status mutu sungai Citarum di wilayah Sapan sejak tahun 2008 berada pada kisaran 60-90 (Gambar 6). Pada stasiun pemantauan Wangisagara yang berada di wilayah hulu sungai Citarum, status mutu air memiliki

kecenderungan menurun sejak tahun 2008. Parameter yang berkontribusi terhadap status mutu air di wilayah Wangisagara yaitu total coliform. Perbedaan nilai status mutu antara wilayah bagian hulu dan bagian hilir ini menunjukkan bahwa peningkatan status mutu berada di wilayah Majalaya.



Gambar 6. Status kualitas air anak-anak sungai Citarum di sub DAS Citarum hulu

3.2. Keterkaitan Kualitas Air terhadap Perilaku Penggunaan Lahan

Regresi linear berganda digunakan untuk menentukan arah dan signifikansi yang mewakili hubungan variabel kualitas air dan perilaku penggunaan lahan yang spesifik. Parameter-parameter kualitas air ini sebagai indikator target dari dampak perilaku penggunaan lahan dan perubahannya yang spesifik terhadap parameter tertentu. Setiap parameter kualitas air sebelumnya harus memenuhi beberapa asumsi regresi linear diantaranya distribusi normal, uji normalitas memberikan nilai $p\ value > 0.05$, dan uji multikolinieritas dengan nilai $VIF < 10$. Model keterkaitan kualitas air terhadap jenis penggunaan lahan dibangun berdasarkan musim basah dan musim kering.

Peterson *et al.* (2010) menjelaskan bahwa kekuatan keterkaitan antara jenis lanskap dan kondisi aliran berubah sepanjang tahun karena adanya perbedaan musim dalam aktifitas hidrologis dan indikator kategori. Pada musim basah, jaringan sungai menyebar secara longitudinal dan lateral (Junk *et al.* 1989) sehingga mengakibatkan dampak pembilasan pada jalur aliran sebagai media transportasi material baik fisika maupun kimia ke aliran sungai (Olivie-Lauquet *et al.* 2001). Perilaku penggunaan lahan secara spesifik memberikan kontribusi baik jenis dan konsentrasi pencemar *nonpoint-source*. Implikasi parameter-parameter pencemar terhadap kualitas air tergantung pada besarnya pencemar yang dihasilkan. Hasil regresi berganda parameter kualitas air terhadap persentase perilaku penggunaan lahan secara keseluruhan dapat

dijelaskan oleh variabel hutan, sawah, pertanian dan permukiman.

Keterkaitan kualitas air terhadap proporsi jenis penggunaan lahan secara statistik pada periode musim basah memberikan indikator kategori yang bervariasi (Tabel 1). Jenis penggunaan lahan permukiman memberikan hubungan positif terhadap STORET, TDS dan NO₂. Hubungan linear positif STORET terhadap permukiman dipengaruhi oleh parameter-parameter yang melebihi baku mutu dengan indikasi rendahnya parameter DO. Hubungan TDS terhadap proporsi jenis penggunaan lahan permukiman menunjukkan bahwa proporsi permukiman yang semakin besar berpotensi meningkatkan nilai TDS secara logaritmik. Sementara itu, pada periode musim kering hutan memberikan hubungan negatif terhadap TDS. Hubungan TDS terhadap hutan ini mengindikasikan peningkatan proporsi hutan akan menurunkan nilai TDS secara logaritmik. Hubungan NO₂ terhadap proporsi jenis penggunaan lahan permukiman menunjukkan peningkatan proporsi permukiman berpotensi meningkatkan nilai NO₂ secara kuadratik. Proporsi jenis penggunaan lahan

permukiman terkait dengan input antropogenik terhadap tingginya aliran limpasan selama musim basah. Proporsi luas permukiman identik dengan domestik dan industri. Sumber pencemar yang berasal dari domestik dan industri menjadi fokus perhatian di DAS Citarum hulu karena dianggap sebagai sumber pencemar utama sungai. Kecenderungan nilai parameter-parameter terkait selama rentang waktu 5 tahun terakhir belum menunjukkan peningkatan kualitas dan sebagai salahsatu kontributor tingginya nilai STORET.

Jenis penggunaan lahan pertanian memberikan hubungan negatif terhadap beberapa parameter kualitas air antara lain nilai STORET, temperatur, BOD, COD, TP dan H₂S. Hubungan negatif pertanian terhadap parameter kualitas air pada musim basah menunjukkan bahwa jenis penggunaan lahan pertanian memiliki kapasitas infiltrasi yang tinggi dan adanya faktor vegetatif. Hal ini dapat memberikan indikasi positif terhadap konservasi dimana proporsi pertanian dapat menjadi penyeimbang terhadap jenis penggunaan lahan yang lain.

Tabel 1. Model regresi linear berganda keterkaitan kualitas air terhadap proporsi jenis penggunaan lahan (%)

Kualitas air	Satuan	Persamaan regresi	p value
STORET	-	Skor storet = - 79.4 - 0.603 pertanian + 0.834 permukiman)	0.000
Musim Basah			
pH	-	pH = 6.93 + 0.0263 sawah	0.000
TDS	mg/L	lnTDS = 4.33 + 0.110 permukiman	0.000
TSS	mg/L	TSS = 42.31 - 0.6373 sawah + 0.01560 sawah ²	0.019
Temperatur	°C	temp = 31.4 - 0.104 pertanian	0.000
DO	mg/L	DO = 1.77 + 0.0370 pertanian	0.003
BOD	mg/L	lnBOD = 4.29 - 0.0655 pertanian	0.000
COD	mg/L	lnCOD = 5.61 - 0.0609 pertanian	0.000
NO ₂	mg/L	NO ₂ = (0.127078 + 0.0088814 permukiman) ²	0.000
TP	mg/L	TP = 0.520 - 0.00713 pertanian	0.001
H ₂ S	mg/L	H ₂ S = 0.143 - 0.00194 pertanian	0.002
Musim Kering			
pH	-	pH = 6.86 + 0.0234 sawah	0.005
TDS	mg/L	lnTDS = 6.49 - 0.0490 hutan	0.000
Temperatur	°C	temp = 29.1 - 0.139 hutan	0.002
DO	mg/L	DO = 4.04 - 0.0346 sawah	0.022
BOD	mg/L	BOD = 16.62 - 1.611 sawah + 0.04176 sawah ²	0.000
COD	mg/L	COD = 37.19 - 3.529 sawah + 0.09704 sawah ²	0.000

Proporsi jenis penggunaan lahan sawah mengindikasikan hubungan positif terhadap parameter pH dan TSS pada musim basah. Namun, pada musim kering proporsi jenis penggunaan lahan sawah mengindikasikan hubungan positif terhadap parameter pH. Parameter padatan tersuspensi ini diasosiasikan dengan proses erosivitas yang dipengaruhi oleh curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah dan pola penggunaan lahan. Pola aktifitas jenis penggunaan lahan sawah memulai pengolahan sawah menjelang musim hujan. Lokasi dan topografi jenis penggunaan lahan sawah

mempengaruhi kedua parameter tersebut. Karakteristik sawah sebagian besar berada pada topografi yang relatif datar bahkan dekat dengan sungai. Aliran saat musim basah memobilisasi material baik organik maupun partikel tersuspensi lebih cepat dibandingkan dengan pada saat musim kering.

Pada periode musim kering, proporsi luas jenis penggunaan lahan sawah menjadi faktor paling penting dalam model regresi linear yang dibangun terhadap beberapa parameter kualitas air. Proporsi sawah dapat menentukan peningkatan parameter pH sungai,

kontrol oksigen terlarut dan jarak proporsi luas sawah terhadap sungai juga menentukan karakteristik BOD dan COD. Parameter BOD dan COD diasosiasikan dengan dekomposisi material organik yang terkandung dalam badan air. Pada periode musim kering, debit limpasan yang minimum menyebabkan lamanya waktu tinggal material organik. Sementara itu, ketika parameter BOD dan COD tinggi maka kandungan oksigen terlarut di badan air akan turun. Kandungan oksigen terlarut yang rendah berpotensi dapat meningkatkan temperatur badan air.

Parameter temperatur mengindikasikan hubungan negatif terhadap pertanian pada periode musim basah dan hutan pada periode musim kering. Temperatur yang tinggi pada titik-titik pantauan menunjukkan tingginya tingkat aktivitas metabolik di daerah tersebut yang mengakibatkan rendahnya tingkat oksigen terlarut. Temperatur tinggi yang tak terduga selama musim kering bisa disebabkan kedalaman air. Hal ini dapat diamati bahwa kondisi sungai yang kering pada saat musim kering menyebabkan sinar matahari dapat menembus air karena kedalaman yang lebih rendah sehingga temperatur air dapat meningkat (Anhwange *et al.* 2012).

Hasil ini sejalan dengan studi lain yang menemukan bahwa kualitas air DAS bagian hulu ditentukan oleh proporsi dan luas jenis penggunaan lahan (Amiri & Nakane 2008) dominasi hutan dan pertanian (Firdaus & Nakagoshi 2013), pertanian (Zhanget al. 2012) terutama di daerah tropis (Uriarte *et al.* 2011). Hasil ini memberikan dukungan bukti untuk studi sebelumnya sehingga dapat digunakan sebagai referensi studi terkait dalam mengestimasi respon kualitas air terhadap perubahan penggunaan lahan (Zhang & Wang 2012).

Meskipun mode Iregresi linear berganda merupakan pendekatan yang efektif untuk mengidentifikasi pengaruh signifikan dari input perilaku penggunaan lahan terhadap kualitas air dan menjelaskan hubungan antara intensitas perilaku penggunaan lahan dan kualitas air sungai. Namun, variabel-variabel tersebut tidak secara kuantitatif memperkirakan kontribusi intensitas setiap jenis perilaku penggunaan lahan terhadap kualitas air. Hal ini disebabkan variabel-variabel tersebut hanya didasarkan pada adanya signifikansi statistik dalam analisis data, daripada setiap hubungan mekanistik antara sumber dan penerima (Zhang *et al.* 2012).

Beberapa parameter kualitas air tidak terpilih sebagai model baik parameter pada musim basah maupun musim kering. Hal ini disebabkan parameter-parameter tersebut tidak memenuhi asumsi dan memberikan hasil model yang tidak signifikan. Keterkaitan antara kualitas air dan perilaku penggunaan lahan yang terpilih secara keseluruhan signifikan pada ($p < 0.05$). Nilai-nilai terprediksi merupakan kedekatan dengan nilai pantauan sebenarnya. Nilai tersebut menunjukkan bahwa dengan sedikit kalibrasi dan validasi, model regresi dapat diterapkan pada wilayah DAS lainnya

dengan skala geografis yang berbeda dengan variabel lanskap yang berbeda. Zhang & Wang (2012) menambahkan bahwa dalam penelitian terkait juga menunjukkan bahwa dalam rangka mencapai pembangunan berkelanjutan, pengelolaan lahan harus mempertimbangkan potensi dampak penggunaan lahan terhadap perubahan kualitas air dalam skala DAS. Hasilnya dapat memberikan wawasan tentang hubungan antara jenis penggunaan lahan dan kualitas air sungai.

3.3. Validasi Model

Validasi keterkaitan perubahan perilaku penggunaan lahan terhadap kualitas air menggunakan data proporsi luas perilaku penggunaan lahan dan kualitas air setiap stasiun tahun 2011 di DAS Citarum hulu. Validasi dilakukan berdasarkan selisih antara nilai aktual dan nilai model. Parameter-parameter terkait memberikan hasil *overestimate* dan *underestimate* dengan nilai *error* (Δ) yang bervariasi. Nilai validasi sebagaimana tercantum dalam Tabel 2 menunjukkan validasi parameter-parameter dengan persentase $< 40\%$ dapat dikatakan memiliki nilai validasi yang baik. Nilai selisih negatif parameter menunjukkan model prediktif *underestimate*, sedangkan nilai selisih positif parameter menunjukkan model prediktif *overestimate* terhadap nilai aktual validasi.

Moriasi *et al.* (2007) melaporkan evaluasi kinerja model menggunakan persen bias parameter kualitas air dalam rentang nilai hingga $\pm 70\%$ untuk predikat memuaskan. Rating kinerja harus mempertimbangkan kualitas ketersediaan data yang digunakan untuk membangun model. Kualitas data semakin baik maka rating kinerja model pun harus lebih ketat yang diindikasikan dengan batasan rentang persentase lebih rendah. Hal ini disebabkan kualitas data yang kurang baik akan memberikan ketidakpastian yang tinggi.

Kekuatan prediktif model yang memadai dapat dinilai salah satunya dengan nilai Δ dari model. Kriteria Δ dari model merupakan ukuran kedekatan variabel respon yang dapat dijelaskan oleh variabel prediktor. Hal ini berarti bahwa model tersebut relevan jika digunakan untuk memprediksi variabel lingkungan pada lokasi tertentu. Strayer *et al.* (2003) menambahkan kriteria terkait dengan keakuratan model. Beberapa faktor dapat mempengaruhi ketidakakuratan model diantaranya komposisi atribut jenis penggunaan lahan yang tidak homogen dan asumsi pengaruh langsung variabel penggunaan lahan terhadap variabel respon. Asumsi pengaruh langsung tersebut setidaknya ada dua masalah yang akan dihadapi, yaitu adanya *lagtime* perubahan penggunaan lahan terhadap respon ekosistem dan efek dari perubahan penggunaan lahan tersebut terhadap respon ekosistem yang terjadi selama beberapa dekade.

Tabel 2. Validasi model parameter keterkaitan kualitas air terhadap proporsi jenis penggunaan lahan (%)

Parameter	Wangisagara	Ciliwung hulu
-----------	-------------	---------------

	Aktual	Model	Δ	%	Aktual	Model	Δ	%
STORET	-40	-51.38	-11.38	28.45	-30	-54.98	-24.98	83.27
Musim Basah								
pH	6.96	7.09	0.13	1.87	8.82	6.93	-1.89	21.43
TDS	148	88.73	-59.27	40.05	54.6	176.37	121.77	223.02
TSS	32	38.95	6.95	21.72	8	42.31	34.31	428.88
Temperatur	23.7	26.36	2.66	11.22	22	26.09	4.09	18.59
DO	8.8	3.56	-5.24	59.55	6.98	3.66	-3.32	47.56
BOD	3.04	3.06	0.02	0.66	31	2.57	-28.43	91.71
COD	12.8	14.31	1.51	11.80	tda	12.17	-	-
NO ₂	0.004	0.0195	0.0155	387.50	0.006	0.038	0.032	533.33
TP	0.07	0.175	0.105	150.00	0.31	0.156	-0.154	49.68
H ₂ S	0.05	0.049	-0.001	2.00	<0.005	0.044	0.039	780.00
Musim Kering								
pH	7.35	7.01	-0.34	4.63	6.91	6.86	-0.05	0.72
TDS	190.75	137.07	-53.68	28.14	44.15	102.11	57.96	131.28
Temperatur	22	24.65	2.65	12.05	24	23.81	-0.19	0.79
DO	6.43	3.83	-2.6	40.44	4.63	4.04	-0.59	12.74
BOD	2.47	8.23	5.76	233.20	25.5	16.61	-8.89	34.86
COD	15.52	19.02	3.5	22.55	tda	37.19	-	-

3.4. Implementasi Manajemen Adaptif

Pola konservasi setiap jenis penggunaan lahan berpotensi menjadi dilema karena masing-masing memiliki nilai manfaat yang berbeda. Hubungan antar jenis penggunaan lahan secara spasial memerlukan pendekatan keberlanjutan agar fungsinya menjadi efektif terhadap peningkatan kualitas lingkungan. Model kualitas air terhadap jenis penggunaan lahan dapat menjadi input dalam implementasi pengelolaan yang adaptif. Peningkatan satu satuan proporsi luas pertanian maka pada musim basah temperatur sungai, BOD, COD, TP dan H₂S akan menurun sebesar 0.1 °C, 1.07 mg/L, 1.06 mg/L, 0.00713 mg/L, 0.00194 mg/L. Sementara itu, pada musim basah peningkatan satu satuan proporsi luas pertanian akan menaikkan DO sungai sebesar 0.04 mg/L. Status mutu air secara keseluruhan menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan proporsi luas pertanian akan berkontribusi menurunkan nilai STORET sebesar 0.6. Potensi proporsi pertanian sebesar 41% dari luas DAS Citarum hulu seharusnya mampu menjadi penyeimbang terhadap degradasi kualitas air. Pola aktivitas pertanian yang tidak berwawasan lingkungan menjadi penyebab tidak efektifnya peran pertanian dalam menjaga keseimbangan kualitas air.

Praktek konservasi terhadap jenis penggunaan lahan pertanian dapat dilakukan dengan memanfaatkan potensi proporsi luas pertanian yang besar tersebut sebagai jalur penyangga. Jalur filter vegetasi sebagai jalur penyangga merupakan sistem perlakuan vegetasi dalam menurunkan dampak pencemar melalui debit limpasan yang berasal dari aktifitas jenis penggunaan lahan tertentu. Lovell *et al.* (2006) menjelaskan bahwa manfaat yang dapat diperoleh dari pengelolaan jalur

penyangga diantaranya mampu mengurangi laju sedimentasi, menahan laju input aliran kimia melalui limpasan, meningkatkan keanekaragaman flora dan fauna serta mengatur temperatur sungai. Sistem jalur penyangga dibutuhkan untuk perencanaan jangka panjang sehingga efektifitas pemantauan menjadi sangat penting untuk menelusur dan mengevaluasi implementasi sistem jalur penyangga tersebut. Integrasi pengelolaan jalur penyangga ke dalam rencana pembangunan pemerintah daerah dapat dilakukan dalam rangka pencapaian target kebijakan lingkungan di wilayah ini diantaranya penurunan lahan kritis sebesar 36.81%, penurunan kandungan pencemar limbah ke sungai sekaligus juga dapat memberikan nilai tambah pada sektor pertanian.

Pengelolaan kualitas air dalam rangka konservasi lahan dan air tersebut perlu mempertimbangkan *lag time* baik pada aktifitas pengelolaan lahan maupun perubahan konversi lahan. Faktor HTI dalam rentang 10 tahun terakhir terindikasi mengkonversi sebagian wilayah HLS sebesar 11.48% dari total luas HLS pada tahun 2000 dan perubahan HTI menjadi PLKS sebesar 13.78% dari total HTI pada tahun 2000. Luas jenis penggunaan lahan HTI secara proporsi relatif seimbang dalam rentang 10 tahun terakhir. Disamping itu, pola konversi lahan pertanian juga berasal dari jenis penggunaan lahan semak/belukar dan tanah terbuka sehingga keseimbangan proporsi HTI seharusnya mengarah pada pertanian. Hal ini dilakukan dalam rangka mempertahankan proporsi HLS ataupun HLP di wilayah hulu. Helters *et al.* (2008) menjelaskan bahwa *lag time* ini tergantung pada waktu yang dibutuhkan vegetasi untuk dapat terbentuk. Masa transisi dimungkinkan adanya pertumbuhan rumput yang banyak dalam satu musim. Namun, untuk memastikan

kinerja jangka panjang dari sistem dengan membentuk vegetasi dan mempertahankan vegetatif tersebut.

Pengelolaan lahan sawah dapat berkontribusi terhadap input bahan kimia ke badan air. Setiap kenaikan satu satuan proporsi luas sawah akan meningkatkan pH sebesar 0.03 pada musim basah dan 0.02 pada musim kering. Namun, kenaikan satu satuan proporsi luas sawah akan menurunkan TSS sebesar 0.62 mg/L pada musim basah dan DO, BOD serta COD sebesar 0.035 mg/L, 1.57 mg/L, 3.43 mg/L pada musim kering. Peningkatan proporsi luas jenis penggunaan lahan sawah dapat berperan penting sebagai umpan balik terhadap beberapa indikator target parameter kualitas air. Watung *et al.* (2004) menjelaskan bahwa jenis penggunaan lahan sawah memiliki kemampuan dalam mempreservasi air. Kemampuan preservasi tersebut dapat menahan laju aliran yang mengandung bahan kimia dengan waktu tinggal lebih lama. Oleh karena itu, pengelolaan kualitas air terhadap lahan sawah perlu mengintegrasikan sistem irigasi yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan karakteristik alami lahan. Praktek konservasi dalam rangka pengelolaan kualitas air dapat dilakukan dengan menerapkan sistem irigasi rotasional dengan penjadwalan yang tepat, sistem aliran yang efisien, pemanfaatan penggunaan kembali *tailwater* dan aliran limpasan (USDA 2012).

Hasil validasi yang dilakukan pada tingkat luasdan wilayah berbeda menunjukkan bahwabeberapa parameter kualitas air memberikan hasil kurang baik disebabkan pola ruang yang berbeda dimana proporsi permukiman hingga 7.66% dari luas sub DASnya. Pola permukiman yang mengikuti alur sungai dapat memberikan indikasi tingginya parameter BOD. Hal ini berpotensi menyebabkan bias dalam penentuan indikator target pengelolaan. Disamping itu, faktor curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng dan pola pengelolaan lahan yang berbedajuga berpotensi memberikan hasil berbeda dalam penentuan indikator target tersebut. Variasi proporsi luas jenis penggunaan lahan terhadap respon kualitas air dapat memberikan suatu input dalam perencanaan pengelolaan kualitas air. Penelitian ini mengindikasikan bahwa baik pada tingkat sub sub DAS maupun sub DAS di bagian hulu, proporsi lahan hutan perlu dipertahankan minimal 30%, lahan pertanian minimal 40% dan lahan permukiman hanya sekitar 1%. Wilayah sub subDAS hulu berpotensi memiliki kelas kemiringan > 8% sehingga untuk penentuan proporsi sawah akan bervariasi dengan perkebunan, tanah terbuka dan semak/belukar.

4. Kesimpulan

Studi menunjukkan bahwa status mutu air di DAS Citarum hulu dari tahun ke tahun relatif tidak ada peningkatan kualitas air. Hasil regresi berganda parameter kualitas air terhadap perilaku penggunaan lahan mengindikasikan bahwa adanya hubungan jenis perilaku penggunaan lahan pertanian dan sawah terhadap kualitas air. Hal ini dapat digunakan untuk mempred-

iksi kualitas air di suatu daerah aliran sungai sebagai alat pengelolaan dan evaluasi dalam perencanaan pengelolaan sumberdaya air. Dalam implementasi pengelolaannya, hasil studi mengindikasikan bahwa aplikasi model terhadap perencanaan penggunaan lahan harus mempertimbangkan asumsi yang dapat mempengaruhi faktor prediktif model seperti pengaruh langsung *lag time* dari perubahan penggunaan lahan yang spesifik untuk wilayah tertentu. Hal ini disebabkan setiap perubahan satu satuan proporsi luas jenis penggunaan lahan akan merubah kualitas aliran sungai. Implementasi pengelolaan berdasarkan indikator kategori kualitas air dapat dilakukan dengan memaksimalkan faktor non struktural. Proporsi luas setiap jenis penggunaan lahan harus dioptimalkan dalam konteks fungsi dan tujuannya melalui pendekatan manajemen adaptif. Pendekatan tersebut memberikan cara pandang multifungsi lahan berdasarkan karakteristik alaminya. Peran tersebut dapat memberikan dampak keterkaitan yang harmonis dalam menjaga keseimbangan lingkungan. Hal ini tentu saja dapat memberikan keuntungan bagi konservasi sumberdaya air. Dampaknya tidak hanya terhadap kontrol transportasi material yang berpotensi menjadi sumber pencemar dari setiap jenis penggunaan lahan, tapi juga sekaligus dapat memberikan nilai tambah pada setiap sektor baik tingkat lokal maupun regional.

Daftar Pustaka

- [1] Amiri, B. J., Nakane K., 2009. Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the chugoku district of Japan. Springer, Water Resour. Manage., 23, pp. 931–956.
- [2] Anhwange, B. A., Agbaji E. B., Gimba E. C., 2012. Impact assessment of human activities and seasonal variation on River Benue, within Makurdi Metropolis. International Journal of Science and Technology 2(5), pp. 248-254.
- [3] Berthouex, P. M., Brown L. C., 2002. Statistics for Environmental Engineers. 2nd Ed. Lewis Publishers, Boca Raton.
- [4] Bolliger, J., Battig M., Gallati J., Klay A., Stauffacher M., Kienast F., 2011. Landscape multifunctionality: a powerful concept to identify effects of environmental change. Reg. Environ. Change 11, pp. 203–206. Springer.
- [5] Helsel, D. R., Hirsch R. M., 2002. Statistical Methods in Water Resources. US Geological Survey, USA.
- [6] Junk, W. J., Bayley P. B., Sparks R. E., 1989. The flood pulse concept in river flood-plain systems. Di dalam: Dodge DP, editor. Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., pp. 110-127.
- [7] Karamouz, M., Szidarovszky F., Zahraie B., 2003. Water Resources Systems Analysis. Lewis Publishers, Florida.
- [8] Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.
- [9] Lovell, S. T., Sullivan W. C., 2006. Environmental benefits of conservation buffers in the United States: Evidence, promise, and open questions. Agriculture, Ecosystems and Environment. 112, pp. 249–260. Elsevier.
- [10] Moriassi, D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Bingner R. L., Harmel R. D., Veith T. L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE 50(3), pp. 885–900. Society of Agricultural and Biological Engineers, Michigan.
- [11] Olivie-lauquet, G., Gruau G., Dia A., Riou C., Jaffrezic A., Henin O., 2001. Release of trace elements in wetlands: role of seasonal variability. Wat. Res. 35(4), pp. 943-952. Elsevier.

- [12] Peraturan Presiden No. 33 Tahun 2011 tentang Kebijakan Nasional Pengelolaan Sumberdaya Air.
- [13] Peterson, E. E., Sheldon F., Darnell R., Bunn S. E., Harch B. D., 2010. A comparison of spatially explicit landscape representation methods and their relationship to stream condition. *Freshwater Biology*, pp. 1-21. Blackwell Publishing Ltd.
- [14] Rawlings, J. O., Pentula S. G., Dickey D. A., 1998. *Applied Regression Analysis: A Research Tool*. 2nd Ed. Springer-Verlag New York, Inc., New York.
- [15] Strayer, D. L., Beighley R. E., Thompson L. C., Brooks S., Nilsson C., Pinay G., Naiman R. J., 2003. Effects of land cover on stream ecosystems: roles of empirical models and scaling issues. *Ecosystems* 6, pp. 407-423. Springer-Verlag.
- [16] [USDA] United States Department of Agriculture, 2012. *National Best Management Practices for Water Quality Management on National Forest System Lands. Volume 1: National Core Technical Guide*. Forest Services United States Department of Agriculture, Washington DC.
- [17] Watung, R. L., Tala'ohu S. H., Agus F., 2004. Fungsi lahan sawah dalam preservasi air. Di dalam: U. Kurnia, F. Agus, D. Setyorini, dan A. Setiyanto, editor. *Prosiding Seminar Nasional Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian*, pp. 149-157. Bogor, 2 Oktober dan Jakarta, 25 Oktober 2002. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Departemen Pertanian, Jakarta.
- [18] Zhang, W., Li H., Sun D., Zhou L., 2012. A statistical assessment of the impact of agricultural land use intensity on regional surface water quality at multiple scales. *Int. J. Environ. Res. Public Health*.9, pp. 4170-4186.
- [19] Zhang, Y., Wang Y., 2012. Assessment of the impact of land-use types on the change of water quality in Wenyu River Watershed, Beijing, China. Stephen Young (Ed.). *International Perspectives on Global Environmental Change*.