

PROSIDING SEMINAR NASIONAL

Dalam Rangka Dies Natalis Ke-49
Universitas Negeri Yogyakarta



“Optimalisasi Penelitian dan PPM untuk Pencerahan dan Kemandirian Bangsa”

Penyunting:

Prof. Dr. Sudji Munadi

Prof. Dr. Sri Atun

Apri Nuryanto, MT.

Penny Rahmawaty, M.Si.

Dyah Respati Suryo Sumunar, M.Si.

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) UNY

berkerjasama dengan

Masyarakat Penelitian Pendidikan Indonesia

2013

Prosiding Seminar Nasional

Dalam rangka Dies Natalis ke-49 Universitas Negeri Yogyakarta

Optimalisasi Penelitian dan PPM untuk Pencerahan dan Kemandirian Bangsa

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

All right reserved

2013

ISBN: 978-979-562-028-0

Peyunting:

Prof. Dr. Sudji Munadi

Prof. Dr. Sri Atun

Apri Nuryanto, MT.

Penny Rahmawaty, M.Si.

Dyah Respati Suryo Sumunar, M.Si.

Diterbitkan oleh:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM)

Universitas Negeri Yogyakarta

Alamat Penerbit:

Karangmalang, Yogyakarta. 55281.

Telp. (0274) 550840, 555682 - Fax. (0274) 518617

Website: lppm.uny.ac.id

Perpustakaan Nasional / Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Optimalisasi Penelitian dan PPM untuk Pencerahan dan Kemandirian Bangsa

; editor, Apri Nuryanto, Penny Rahmawaty, Dyah Respati SS -cet.1-

;Yogyakarta: LPPM UNY

xiii, 1119 hal, 11 cm.

ISBN: 978-979-562-028-0

1. Optimalisasi Penelitian dan PPM untuk Pencerahan dan Kemandirian Bangsa
I. Apri Nuryanto II. Penny Rahmawaty III. Dyah Respati SS

PENGELOLAAN SUNGAI OPAK PASCA ERUPSI GUNUNG MERAPI TAHUN 2010 UNTUK PERTANIAN

Nurul Khotimah, Dyah Respati Suryo Sumunar, Sugiharyanto

Jurusan Pendidikan Geografi, FIS, UNY

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: (1) potensi sumber daya air Sungai Opak untuk irigasi lahan pertanian dengan melihat rerata curah hujan dan potensi debit yang dimiliki, (2) nilai laju erosi di wilayah Sungai Opak, (3) kualitas air Sungai Opak untuk irigasi lahan pertanian, dan (4) status kekritisitas Daerah Aliran Sungai (DAS) Opak saat ini.

Desain penelitian ini adalah penelitian deskriptif. Populasi penelitian adalah air yang mengalir di DAS Opak, sedangkan sampel penelitian adalah air yang berada di 5 segmen Sungai Opak yang ditentukan dengan teknik purposive sampling. Jenis data yang dikumpulkan meliputi data primer dan sekunder. Teknik pengumpulan data menggunakan metode observasi, dokumentasi, dan uji laboratorium. Data yang dikumpulkan selanjutnya dianalisis secara deskriptif.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa: (1) Potensi curah hujan di DAS Opak relatif tinggi, kecuali di sekitar wilayah stasiun Sorogedug, sedangkan potensi debit masih memungkinkan untuk pemenuhan kebutuhan irigasi lahan basah, kecuali pada musim kemarau dimungkinkan ada beberapa wilayah yang mengalami kendala pemenuhan air irigasi karena penurunan debit yang ada, (2) Indeks bahaya erosi tinggi terdapat pada bagian hulu Sungai Opak, sedangkan wilayah lain dengan indeks bahaya erosi rendah dan sedang yang didukung dengan kondisi kemiringan lereng yang kecil sehingga didominasi lahan pertanian padi dengan sistem irigasi, (3) Kualitas air Sungai Opak baik untuk irigasi pertanian, kecuali dilihat dari parameter klorida dan sulfat, dan (4) Status DAS Opak saat ini dapat dikatakan masih belum kritis, namun tetap diperlukan upaya konservasi untuk menunjang keberlanjutannya.

Kata kunci: kelas air, Sungai Opak, pasca erupsi, Gunung Merapi

PENDAHULUAN

Erupsi Gunung Merapi di perbatasan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah pada akhir tahun 2010 telah menimbulkan berbagai dampak langsung terhadap lingkungan, antara lain kerusakan lahan hutan dan pertanian, penurunan kualitas udara, penurunan kualitas air dan sedimentasi di aliran sungai yang bermata air di Merapi, kerusakan infrastruktur dan permukiman penduduk, dan korban jiwa. Penurunan kualitas air dan sedimentasi di aliran Sungai Opak yang bermata air di Merapi merupakan permasalahan pasca erupsi yang memerlukan penanganan lebih lanjut.

Kajian kualitas air Sungai Opak telah dilakukan penelitian oleh Sugiharyanto, dkk (2011), yang menunjukkan bahwa material hasil erupsi Merapi mengandung beberapa unsur yang berpengaruh terhadap kualitas air sungai Opak dilihat dari hasil pengukuran parameter nitrat, amoniak, besi, boron, seng, klorida, SAR, dan salinitas. Namun demikian kelas air Sungai Opak

masih memenuhi batas syarat kelas air sungai II, kecuali parameter BOD, COD, Residu tersuspensi (TSS), dan E - Coli. Dalam rangka pemulihan kualitas sumber daya air Sungai Opak diperlukan adanya beberapa upaya konservasi.

Mengingat peranan penting Sungai Opak sebagai ekosistem sungai besar dan penunjang kehidupan masyarakat serta pembangunan regional, maka pengkajian kelas air Sungai Opak perlu dilanjutkan dengan lebih memfokuskan pada pengelolaan Sungai Opak untuk pertanian dengan melihat masukan berupa curah hujan dan analisis potensi debit yang dimiliki, penentuan laju erosi yang terjadi, serta pengukuran kualitas air sungai Opak untuk pemenuhan kebutuhan irigasi lahan pertanian. Adanya pengkajian kelas air Sungai Opak lanjutan diharapkan dapat melihat sejauhmana status kekritisitas DAS Opak saat ini sehingga memberikan kontribusi bagi Pemerintah Kabupaten terkait untuk melakukan pengelolaan sesuai dengan kewenangannya.

Beberapa hal yang teridentifikasi sebagai masalah di lingkungan Daerah Aliran Sungai Opak saat ini, antara lain: (1) Perlunya analisis potensi sumber daya air Sungai Opak untuk pemenuhan cakupan irigasi lahan pertanian yang ada dengan melihat rerata curah hujan dan potensi debit yang dimiliki, (2) Perlunya penentuan indeks laju erosi dengan menggunakan metode USLE di wilayah Sungai Opak, (3) Perlunya pengukuran kualitas air Sungai Opak untuk pemenuhan kebutuhan irigasi lahan pertanian, dan (4) Perlunya penentuan status kekritisitas DAS Opak saat ini berdasarkan hasil analisis potensi sumber daya air untuk irigasi lahan pertanian, nilai indeks laju erosi, dan hasil analisis kualitas air Sungai Opak untuk irigasi lahan pertanian.

Berdasarkan latar belakang masalah DAS Opak di atas, maka penelitian ini mengacu pada urgensi penelitian lebih difokuskan pada pengelolaan Sungai Opak untuk pertanian pada tahun 2012 pasca erupsi gunung Merapi tahun 2010.

METODE PENELITIAN

Adapun sistematika penelitian ini dimulai dari penentuan permasalahan, metode penelitian, penentuan titik sampel, uji laboratorium, pembuatan peta isohiet, dan analisa hasil penelitian untuk mendapatkan gambaran tentang permasalahan yang ada. Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah analisa deskriptif untuk mengetahui dampak dari erupsi merapi tahun 2010 terhadap pengelolaan Sungai Opak untuk pertanian.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi: metode observasi, dokumentasi, dan uji laboratorium. Metode pengumpulan data merupakan cara memperoleh data mengenai variabel-variabel tertentu (Suharsimi Arikunto, 2006:12). Metode pengumpulan data dalam penelitian ini, yaitu:

1. Observasi

Observasi adalah teknik pengumpulan data dengan melakukan pengamatan dan pencatatan secara sistematis terhadap gejala atau fenomena yang ada pada objek penelitian (Moh. Pabundu Tika, 2005:44). Pada penelitian ini observasi dilakukan dengan cara pengukuran profil melintang dan pengukuran debit aliran sungai untuk mengetahui potensi

air permukaan serta pengecekan langsung di lapangan baik mengenai kondisi fisik maupun biotik dari *upper stream*, *middle stream* dan *lower stream* di daerah penelitian.

2. Dokumentasi

Dokumentasi merupakan metode pengumpulan data dengan mempelajari atau mencatat data yang telah ada. Dalam penelitian ini metode dokumentasi dilakukan dengan mempelajari data sekunder yang meliputi data kondisi fisik dan geografis, data curah hujan, data debit aliran, serta peta-peta tematik, seperti peta DAS Opak, peta topografi, peta lereng, peta jaringan sungai (bentuk drainase), peta penggunaan lahan, dan peta curah hujan.

3. Uji laboratorium

Uji laboratorium dilakukan terhadap sampel air yang diambil di 5 (lima) wilayah segmentasi Sungai Opak. Sampel air yang telah diambil di lapangan kemudian diujikan di Laboratorium Hidrologi dan Kualitas air Fakultas Geografi UGM. Uji laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur yang ada dalam sampel air sesuai dengan parameter untuk irigasi lahan pertanian yang meliputi: Daya Hantar Listrik (DHL), *Sodium Adsorption Ratio* (SAR), kadar boron, persentase natrium (% Na), serta kadar klorida dan sulfat. Hasil uji laboratorium selanjutnya akan dilakukan upaya interpretasi dan analisis untuk memberikan suatu arahan atau rekomendasi.

Teknik analisis data adalah proses penyederhanaan data ke dalam bentuk yang lebih mudah untuk dipahami, dibaca, dan dipresentasikan (Masri Singarimbun, 1989: 363). Dalam penelitian ini, analisis data yang dilakukan adalah analisis deskriptif yang memberikan tafsiran secara deskriptif terhadap data hasil analisis, meliputi:

1. Potensi curah hujan dan potensi debit aliran

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, yang disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm (Suyono Sosrodarsono, 2006:27). Curah hujan daerah harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan, salah satunya dengan metode isohiet.

Metode isohiet memungkinkan penghitungan curah hujan dengan bantuan isohiet (garis yang menghubungkan jeluk curah hujan yang sama) yang digambarkan pada daerah tersebut (Ersin Seyhan, 1995: 55). Curah hujan rata-rata ditentukan dengan menjumlahkan hasil kali luas isohiet dan curah hujan (jeluk isohiet), dan dibagi dengan luas total. Metode isohiet merupakan metode paling teliti karena mempertimbangkan sejumlah besar faktor, seperti relief, aspek, dan lain-lain.

Dalam konsep daur hidrologi sangat diperlukan untuk melihat masukan berupa curah hujan yang selanjutnya akan didistribusikan. Perhitungan curah hujan daerah dengan metode isohiet dapat digunakan untuk menentukan potensi air permukaan dalam suatu DAS. Konsep daur hidrologi DAS menjelaskan bahwa air hujan langsung sampai ke permukaan tanah untuk kemudian terbagi menjadi air larian, evaporasi, dan air infiltrasi, yang kemudian akan mengalir ke sungai sebagai debit aliran.

Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu, dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dtk). Data debit aliran sungai adalah informasi penting dalam pengelolaan sumber daya air. Debit aliran puncak (banjir) diperlukan untuk merencanakan bangunan

pengendali banjir, sedangkan debit aliran kecil diperlukan untuk merencanakan pemanfaatan air dalam berbagai macam keperluan terutama jika musim kemarau panjang (Chay Asdak, 2007:190).

Pengukuran debit aliran langsung di lapangan yang paling banyak dipraktekkan dan berlaku untuk kebanyakan aliran sungai dilakukan melalui pengukuran debit dengan cara mengukur kecepatan aliran dan menentukan luas penampang melintang sungai, sehingga menurut persamaan Bernoulli secara matematis:

$$Q = A \cdot V$$

Q = besarnya debit (m^3/dtk)

A = luas penampang melintang (m^2)

V = kecepatan aliran (m/dtk) (Chay Asdak, 2007:195).

2. Besarnya laju erosi

Prediksi erosi adalah cara untuk memperkirakan laju erosi yang akan terjadi dari tanah yang digunakan dalam suatu penggunaan lahan dan pengelolaan tertentu (Sitnala Arysad, 2010:353). Dari beberapa metode untuk memperkirakan besarnya erosi permukaan, metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978) adalah metode yang paling umum digunakan untuk memperkirakan besarnya erosi (Sitnala Arysad, 2010:366-367 dan Chay Asdak, 2007:356-357), dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

A = Laju erosi tanah (ton/ha/tahun)

R = Indeks erosivitas hujan

K = Indeks erodibilitas tanah

L = Indeks panjang lereng

S = Indeks kemiringan lereng

C = Indeks penutupan vegetasi

P = Indeks pengolahan lahan atau tindakan konservasi tanah

Indeks erosivitas hujan (R) ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Chay Asdak, 2007:359):

$$R = 2,21 P^{1,36}$$

R = Indeks erosivitas hujan

P = Curah hujan bulanan (cm)

Indeks erodibilitas tanah (K) dapat ditentukan dengan cara mengetahui jenis tanah terlebih dahulu yang disajikan pada Tabel 1 di bawah ini (Chay Asdak, 2007:365).

Tabel 1. Perkiraan besarnya nilai K dari beberapa jenis tanah

No.	Jenis Tanah	Nilai K Rata-rata (metrik)
1.	Latosol merah	0,12
2.	Latosol merah kuning	0,26
3.	Latosol coklat	0,23
4.	Latosol	0,31
5.	Regosol	0,12-0,16
6.	Regosol	0,29
7.	Regosol	0,31
8.	<i>Gley humic</i>	0,13
9.	<i>Gley humic</i>	0,26
10.	<i>Gley humic</i>	0,20
11.	Lithosol	0,16
12.	Lithosol	0,29
13.	Grumusol	0,21
14.	<i>Hydromorf</i> abu-abu	0,20

Indeks panjang dan kemiringan lereng (LS) ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Chay Asdak, 2007:366):

$$LS = L^{1/2} (0,00138 S^2 + 0,00965 S + 0,0138)$$

L = Panjang lereng (m)

S = Kemiringan lereng (%)

Indeks penutupan vegetasi (C) dan indeks pengolahan lahan atau tindakan konservasi tanah (P) dapat digabung menjadi faktor CP yang nilainya disajikan pada Tabel 2 di bawah ini (Chay Asdak, 2007:375-376).

Tabel 2. Perkiraan nilai faktor CP pada berbagai jenis penggunaan lahan

No.	Konservasi dan Pengelolaan Tanaman	Nilai CP
1.	Hutan	
a.	Tak terganggu	0,01
b.	Tanpa tumbuhan bawah, disertai seresah	0,05
c.	Tanpa tumbuhan bawah, tanpa seresah	0,50
2.	Semak	
a.	Tak terganggu	0,01
b.	Sebagian berumput	0,10
3.	Kebun	
a.	Kebun-talun	0,02
b.	Kebun-pekarangan	0,20
4.	Perkebunan	
a.	Penutupan tanah sempurna	0,01
b.	Penutupan tanah sebagian	0,07
5.	Perumputan	
a.	Penutupan tanah sempurna	0,01

b.	Penutupan tanah sebagian, ditumbuhi alang-alang	0,02
c.	Alang-alang, pembakaran sekali setahun	0,06
d.	Serai wangi	0,65
6.	Tanaman pertanian	
a.	Umbi-umbian	0,51
b.	Biji-bijian	0,51
c.	Kacang-kacangan	0,36
d.	Campuran	0,43
e.	Padi irigasi	0,02
7.	Perladangan	
a.	1 tahun tanam - 1 tahun bero	0,28
b.	1 tahun tanam - 2 tahun bero	0,19
8.	Pertanian dengan konservasi	
a.	Mulsa	0,14
b.	Teras bangku	0,04
c.	<i>Contour cropping</i>	0,14

Selanjutnya bahaya erosi dapat dinyatakan dalam indeks bahaya (ancaman) erosi yang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Hammer, 1981 dalam Sitanala Arysad, 2010:424):

$$\text{Indeks Bahaya Erosi} = \frac{\text{Erosi Potensial (ton/ha/tahun)}}{\text{T (ton/ha/tahun)}}$$

T = besarnya erosi yang masih dapat dibiarkan

Penentuan harkat hasil perhitungan indeks bahaya erosi pada masing-masing satuan lahan di suatu DAS dapat ditentukan dengan cara memasukkan pada klasifikasi indeks bahaya erosi yang disajikan pada Tabel 3 di bawah ini (Hammer, 1981 dalam Sitanala Arysad, 2010:424).

Tabel 3. Klasifikasi indeks bahaya erosi

No.	Nilai Indeks Bahaya Erosi	Harkat
1.	< 1,0	Rendah
2.	1,01 - 4,0	Sedang
3.	4,01 - 10,0	Tinggi
4.	> 10,01	Sangat tinggi

3. Kualitas air untuk irigasi lahan pertanian

Kualitas air irigasi akan mempengaruhi keadaan tanah dan pertumbuhan tanaman, sehingga perlu diketahui konsentrasi bahan-bahan tertentu dalam penilaian kualitas air irigasi. Parameter yang digunakan untuk pengukuran kualitas air irigasi, antara lain:

a. Daya hantar listrik

Daya Hantar Listrik (DHL) adalah kemampuan suatu substansi untuk menghantarkan arus listrik. Substansi dapat berupa kadar garam-garam yang terlarut di dalam air, dengan satuan μ mhos/cm. Semakin tinggi kadar garam atau salinitas pada air akan semakin menghambat pertumbuhan tanaman. Berdasarkan nilai DHL dapat diketahui klasifikasi air untuk irigasi seperti disajikan dalam Tabel 4 di bawah ini (Kartasapoetra dan Mul Mulyani, 1994:16).

Tabel 4. Klasifikasi air untuk irigasi berdasarkan nilai DHL (Scofield)

Kelas	DHL (μ mhos/cm)	Kualitas Air Irigasi
I	0 - 250	Sangat baik
II	> 250 - 750	Baik
III	> 750 - 2.000	Agak baik
IV	> 2.000 - 3.000	Kurang baik
V	> 3.000	Kurang sesuai

b. Sodium adsorption ratio

Sodium Adsorption Ratio (SAR) digunakan untuk mengukur imbalanced kation dalam penentuan taraf bahaya alkanitas yang terjadi atau kerusakan struktur tanah. Dalam perhitungan nilai SAR, ion Na merupakan penimbul bahaya, sedangkan ion Ca dan Mg berfungsi sebagai penawar. Nilai SAR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg):2}}$$

Berdasarkan nilai SAR dapat diketahui kelas air untuk irigasi seperti disajikan dalam Tabel 5 di bawah ini (Mahida, 1986:120).

Tabel 5. Klasifikasi air untuk irigasi berdasarkan kandungan SAR

No.	Kelas Air Irigasi	Nilai Sodium Adsorption Ratio (SAR)
1.	Sangat baik	≤ 10
2.	Baik	> 10 - 18
3.	Dapat dipergunakan	> 18 - 26
4.	Meragukan	> 26

c. Kadar boron (B)

Boron adalah unsur esensial bagi semua jenis tanaman, namun demikian jumlah boron yang dibutuhkan tanaman kecil sekali. Jika kadar boron yang terkandung dalam air irigasi kurang dari 1 mg/l maka air masih dapat dipakai untuk hampir semua jenis tanaman, sebaliknya jika kadar boron dalam air irigasi melebihi 4 mg/l maka dapat meracuni tanaman. Berdasarkan kadar boron dapat diketahui kelas air untuk irigasi seperti disajikan dalam Tabel 6 di bawah ini (Mahida, 1986:128).

Tabel 6. Klasifikasi air untuk irigasi berdasarkan kandungan boron

Kelas Air	Kadar Boron (mg/l)		
	Tanaman Peka	Tanaman Semi Toleran	Tanaman Toleran
Baik Sekali	< 0,33	< 0,67	< 1,00
Baik	0,33 - 0,67	0,67 - 1,33	1,00 - 2,00
Dijijinkan	0,67 - 1,00	1,33 - 2,00	2,00 - 3,00
Diragukan	1,00 - 1,25	2,00 - 2,50	3,00 - 3,75
Tidak Cocok	> 1,25	> 2,50	> 3,75

Setiap jenis tanaman memiliki tingkat kepekaan masing-masing terhadap kadar Boron. Jika kadar boron tinggi atau melebihi 4 mg/l maka tanaman akan teracuni, yang dicirikan dengan gejala-gejala, antara lain tanaman layu, kering, dan akhirnya mati. Berdasarkan kepekaan terhadap kadar boron dapat diketahui beberapa jenis tanaman

yang peka, agak peka, dan tahan seperti disajikan dalam Tabel 7 di bawah ini (Sugiharyanto dan Heru Pramono, 1988:10).

Tabel 7. Jenis tanaman berdasarkan kepekaan terhadap kadar boron

No.	Kepekaan Terhadap Kadar Boron	Jenis Tanaman
1.	Peka (kadar boron = 1 ppm)	Buah-buahan pada umumnya, seperti jeruk, adpokat, apel, anggur
2.	Agak peka (kadar boron = 2 ppm)	Buncis, kapri, ketela rambat, cabai, jagung, tomat, kapas, padi, kentang, tembakau
3.	Tahan (kadar boron = 4 ppm)	Wortel, kol, bawang merah, sawi, asparagus, kelapa, kelapa sawit

d. Persentase natrium (% Na)

Persentase natrium merupakan nilai dari besarnya natrium bagi jumlah natrium, kalium, kalsium dan magnesium dalam satuan miliequivalenten tiap liter dikali 100%. Perhitungan persentase natrium dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ Na} = \frac{\text{Na}}{\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}} \times 100\%$$

Berdasarkan persentase natrium (% Na) dapat diketahui kelas air untuk irigasi seperti disajikan dalam Tabel 8 di bawah ini (Kartasapoetra dan Mul Mulyani, 1994:16).

Tabel 8. Klasifikasi air untuk irigasi berdasarkan persentase natrium

Kelas Air	% Na	Kualitas Air Irigasi
I	0 - 20	Sangat baik
II	> 20 - 40	Baik
III	> 40 - 60	Agak baik
IV	> 60 - 75	Kurang baik
V	> 75	Kurang sesuai

e. Kadar klorida dan sulfat

Pengukuran kadar klorida dalam kualitas air untuk irigasi diperlukan sebagai petunjuk kekuatan limbah. Kadar klorida berlebih dalam air irigasi terbukti dapat langsung meracuni tanaman buah-buahan yang dicirikan dengan daun menjadi kering dan mengalami kerusakan hebat, namun demikian batas tertentu mengenai dasar kadar klorida belum dapat ditetapkan (Mahida, 1986:131). Pengukuran sulfat cukup penting dalam pembenahan air limbah dan sampah industri. Berdasarkan kadar klorida dan sulfat dapat diketahui kelas air untuk irigasi seperti disajikan dalam Tabel 9 di bawah ini (Kartasapoetra dan Mul Mulyani, 1994:16).

Tabel 9. Klasifikasi air untuk irigasi berdasarkan kadar klorida dan sulfat

Kelas Air	Cl ⁻ SO ₄ ⁺ (ppm)	Kualitas Air Irigasi
I	0 - 4	Sangat baik
II	> 4 - 7	Baik
III	> 7 - 12	Agak baik
IV	> 12 - 30	Kurang baik
V	> 30	Kurang sesuai

4. Status kekritisitas DAS Opak

Tingkat kekritisitas DAS umumnya dicirikan oleh terjadinya pendangkalan sungai dan tingginya fluktuasi debit aliran sungai antara musim hujan dan kemarau. Kondisi kualitas air juga semakin menurun yang ditunjukkan dengan tingginya laju sedimentasi dan pencemaran, terutama terkait dengan aktivitas pemanfaatan lahan pertanian (<http://repository.ipb.ac.id>).

Hasil analisis potensi curah hujan, potensi debit aliran, besarnya laju erosi, serta data hasil uji laboratorium tentang kualitas air untuk irigasi lahan pertanian kemudian digunakan untuk menentukan status kekritisitas DAS Opak saat ini, yang selanjutnya dapat diberi upaya penanganan (konservasi) untuk menjaga keberlanjutannya.

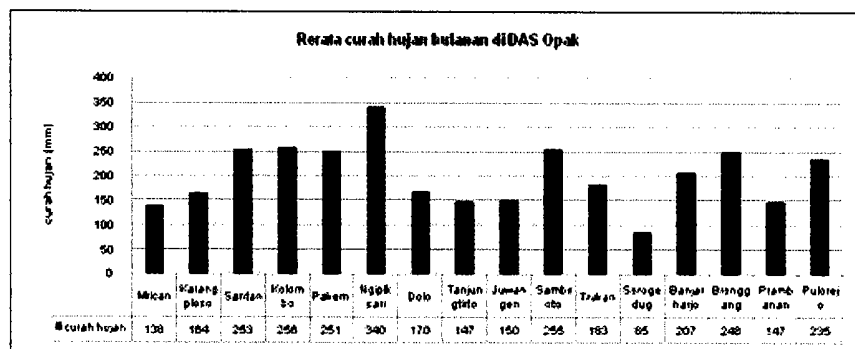
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Potensi sumber daya air Sungai Opak untuk irigasi lahan pertanian

Dalam penelitian ini yang dikaji adalah ketersediaan air permukaan, yaitu potensi sumber daya air Sungai Opak untuk kebutuhan irigasi lahan pertanian dilihat dari aspek curah hujan dan debit aliran sungai, yang diuraikan sebagai berikut:

1. Curah hujan

Sebaran curah hujan di masing-masing stasiun pengukur hujan yang ada di DAS Opak dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Rerata curah hujan bulanan di DAS Opak

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa sebaran curah hujan di wilayah DAS Opak menunjukkan adanya variasi rerata curah hujan bulanan. Wilayah dengan rerata curah hujan bulanan terbesar adalah di stasiun pengukur hujan Ngipiksari, sedangkan rerata curah hujan bulanan terendah di stasiun pengukur hujan Sorogedug.

Dengan curah hujan yang besar di wilayah stasiun pengukur hujan Ngipiksari yang merupakan wilayah hulu Sungai Opak maka potensi adanya banjir lahar dari material hasil erupsi tahun 2010 masih besar potensinya untuk terjadi. Wilayah stasiun pengukur hujan Sorogedug dengan rerata curah hujan bulanan di bawah 100 mm sehingga wilayah tersebut tidak cocok untuk pertanian lahan basah, hal ini didukung kondisi topografi wilayah yang berbukit-bukit dan jauh dari sumber air sehingga menjadikannya berpotensi untuk pertanian tadah hujan saja.

2. Debit aliran sungai

a. Potensi debit dari data sekunder

Potensi debit di DAS Opak-Oyo berdasarkan data dari Dinas PU DIY (2005), dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 10. Potensi debit di DAS Opak-Oyo

No.	DAS	Luas area (ha)	Panjang (km)	Potensi debit (m ³ /dtk)	Prasarana terbangun dan pemanfaatan sumber daya air
1.	Opak	740	65,0	8,90	AWLR Pulo/Bendung Tegal
	Winongo		43,8	7,88	Bendung Mojo
	Winongo kecil		22,3	4,86	Winongo Kecil
	Code		41,0	2,61	Bendung Dokaran
	Gajah Wong		21,0	2,75	Pabringan
	Tambakbayan		24,0	1,39	Bendung Margoyoso
	Kuning		30,5	14,17	Bendung Dadapan
	Tepus		23,0	2,54	Bendung Cupuwatu
	Wareng		10,5	0,84	Bendung Umbulan
	Gendol		16,5	2,67	Bendung Karangploso
2.	Oyo	514	106,0	7,57	Muara Oyo

Sumber: Dinas PU DIY, tahun 2005

Dari tabel di atas, maka dapat dilihat bahwa Sungai Kuning memiliki potensi debit paling tinggi yaitu sebesar 14,17 m³/dtk, sedangkan Sungai wareng memiliki potensi debit terendah yaitu sebesar 0,84 m³/dtk. Panjang sungai adalah salah satu aspek yang akan mempengaruhi besarnya debit aliran sungai, mengingat panjang alur sungai mampu menampung aliran permukaan yang masuk ke dalam sungai tersebut.

b. Potensi debit dari hasil pengukuran lapangan

Dalam penelitian ini penghitungan debit aliran Sungai Opak dengan menggunakan persamaan Bernoulli, yaitu nilai Q diperoleh dari perkalian antara kecepatan aliran ($V = m/dtk$) dan luas penampang ($A = m^2$) atau secara matematis: $Q = AV$. Dari hasil pengukuran di lapangan maka dapat diketahui debit aliran Sungai Opak di bagian hulu, tengah, dan hilir yang disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 11. Hasil pengukuran debit aliran Sungai Opak di bagian hulu, tengah, dan hilir

Wilayah Sungai	Lebar Penampang (m)		Tinggi Penampang (m)		Luas Penampang yang terisi air (m ²)	Kecepatan aliran (m/dtk)	Debit (m ³ /dtk)
	Lebar atas	Lebar bawah	Tinggi dari air	Tinggi total			
Hulu	52	46	3,1	3,2	4,9	0,50	2,45
Tengah	22	15	1,5	2,5	18,0	0,50	9,00
Hilir	62	55	2,0	1,0	29,0	0,25	7,25

Sumber: pengukuran lapangan, Agustus 2012

Berdasarkan Tabel 11, dapat dilihat bahwa pada saat pengukuran lapangan di akhir bulan Agustus (musim kemarau) terjadi penurunan angka debit Sungai Opak yang cukup signifikan jika dibandingkan debit pada musim penghujan. Kondisi di lapangan pada hulu Sungai Opak,

ketersediaan air hanya 10 cm dari dasar sungai dan debitnya sangat kecil yaitu 2,45 m³/detik. Di bagian tengah juga terjadi hal yang sama, pengukuran di lapangan dengan debit 9,00 m³/detik, namun demikian ketersediaan air di bagian tengah cukup memadai untuk perikanan darat, akan tetapi ketersediaannya masih kurang jika dipakai untuk irigasi lahan pertanian sawah. Di bagian hilir Sungai Opak dengan debit sebesar 7,25 m³/dtk, menguntungkan pertanian lahan basah di bagian hilir karena dengan debit kecil maka kemungkinan terjadinya banjir kecil.

B. Laju erosi di wilayah Sungai Opak

Faktor-faktor penentu laju erosi di wilayah Sungai Opak dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 12. Faktor-faktor erosi untuk menentukan kategori indeks bahaya erosi

No.	Titik sampel	Curah hujan	Nilai R	Jenis tanah	Nilai K	Lereng		Nilai LS	Penggunaan Lahan	Nilai CP	Nilai Erosi Potensial	Nilai Erosi yang Masih Dapat Dibiarkan	Indeks Bahaya Erosi	Kategori/Marka
						Panjang (m)	Kemiringan (%)							
1.	Ngipisari	340	6.126,38	Tropotherta	0,14	15	10	1,2	Semak sebagian rumput	0,10	102,9	14,4	7,1	Tinggi
2.	Pakem	251	4.054,60	Tropotherta	0,14	20	6	0,5	Tanaman pertanian padi	0,02	5,7	14,4	0,4	Rendah
3.	Bronopang	245	3.983,81	Tropotherta	0,14	30	14	2,0	Hutan	0,05	55,8	14,4	3,9	Sedang
4.	Banjarnharjo	207	3.119,68	Tropotherta	0,14	16	6	0,5	Pertanian tanaman padi	0,02	4,4	14,4	0,3	Rendah
5.	Dolo	170	2.386,73	Tropotherta	0,14	15	3	0,22	Pertanian tanaman padi	0,02	1,5	14,4	0,1	Rendah
6.	Pulerejo	235	3.707,19	Tropotherta	0,14	20	3	0,23	Pertanian tanaman padi	0,02	2,4	14,4	0,2	Rendah
7.	Prambanan	147	1.956,58	Tropotherta	0,14	10	2	0,3	Pertanian tanaman padi	0,02	1,6	14,4	0,1	Rendah
8.	Sambiroto	285	4.142,73	Tropotherta	0,14	10	5	0,4	Pertanian tanaman padi	0,02	4,8	14,4	0,3	Rendah
9.	Kolombo	256	4.164,94	Tropotherta	0,14	5	2	0,38	Pertanian tanaman padi	0,02	4,2	14,4	0,3	Rendah
10.	Santan	253	4.088,61	Tropotherta	0,14	7	3	0,22	Pertanian tanaman padi	0,02	2,5	14,4	0,2	Rendah
11.	Juwangan	150	2.013,15	Tropudulta	0,32	9	3	0,215	Perladangan tadah hujan	0,28	38,8	9,6	4,0	Sedang
12.	Sorogedug	65	929,83	Tropudulta	0,32	45	8	1,3	Perladangan tadah hujan	0,28	108,3	9,6	11,3	Sangat Tinggi
13.	Tanjungitro	147	1.956,58	Tropudulta	0,32	30	8	1,1	Perladangan tadah hujan	0,28	193,0	9,6	20,1	Sangat Tinggi
14.	Trukan	183	2.838,31	Tropudulta	0,32	25	6	0,6	Perladangan tadah hujan	0,28	141,6	9,6	14,8	Sangat Tinggi
15.	Mitan	138	1.797,33	Tropotherta	0,14	21	2	0,21	Pertanian tanaman padi	0,02	1,1	14,4	0,1	Rendah
16.	Karangploso	164	2.272,89	Tropudulta	0,32	16	3	0,24	Perladangan tadah hujan	0,28	48,9	9,6	5,1	Tinggi

Berdasarkan tabel di atas tentang faktor-faktor yang menunjang laju erosi menggambarkan bahwa panjang lereng dan sudut kemiringan lereng yang berada di wilayah Sorogedug, Tanjungtirto, dan Trukan berpengaruh terhadap laju erosi yang lebih besar sehingga menghasilkan indeks bahaya erosi masuk kategori sangat tinggi. Dari pengamatan di lapangan, ketiga wilayah tersebut merupakan wilayah perbukitan dengan lereng-lereng yang terjal, sehingga banyak terbentuk alur-alur erosi yang terjadi pada punggung bukit. Kondisi ini didorong oleh adanya penambangan batu untuk bahan bangunan dan kerajinan batu alam. Penggunaan lahan di daerah tersebut sebagian besar adalah hutan campuran, sawah tadah hujan, dan tegalan.

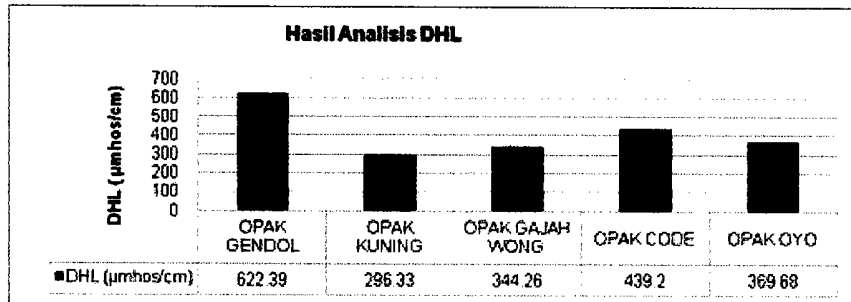
Kondisi di wilayah hulu, diperkirakan laju erosi akan lebih besar dikarenakan kerusakan hutan yang terjadi akibat erupsi Gunung Merapi, sehingga menjadikan padang semak yang luas dengan tumpukan material hasil erupsi dengan volume besar dan digambarkan oleh indeks bahaya erosi kategori tinggi. Wilayah yang lain, indeks bahaya erosi masih masuk dalam

kategori rendah dan sedang, hal ini didorong oleh kemiringan lereng yang rendah dan penggunaan lahan didominasi pertanian padi dengan sistem irigasi.

C. Kualitas air Sungai Opak untuk irigasi lahan pertanian

1. Parameter daya hantar listrik

Berikut ini adalah hasil analisis parameter DHL di Laboratorium Hidrologi dan Kualitas Air Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

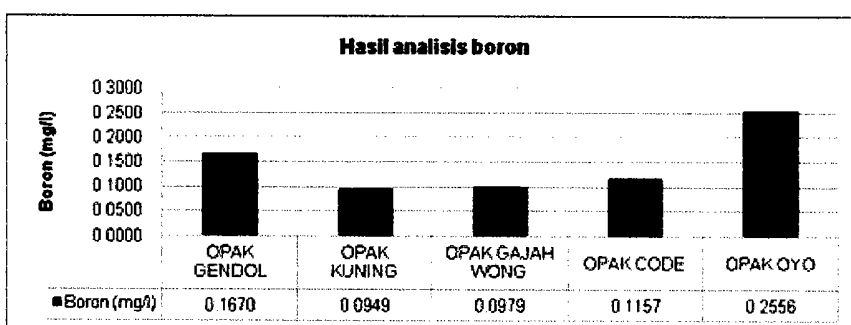


Gambar 2. Hasil analisis laboratorium parameter DHL

Gambar di atas memperlihatkan bahwa DHL pada pertemuan Sungai Opak-Gendol mempunyai nilai DHL paling tinggi, sedangkan keempat sampel yang lain mempunyai nilai DHL lebih rendah, berkisar antara 296,33 - 439,2 $\mu\text{mhos/cm}$. Hal ini menunjukkan kondisi yang ada di pertemuan Sungai Opak-Gendol masih dipenuhi oleh material hasil erupsi merapi tahun 2010 yang banyak mengandung unsur-unsur logam dan garam yang mampu menghantarkan listrik. Selanjutnya berdasarkan nilai DHL dapat diketahui kelima sampel air masuk kelas II atau masih dalam kategori "baik" untuk irigasi pertanian karena kelima sampel air memiliki nilai DHL dalam interval > 250 - 750 $\mu\text{mhos/cm}$.

2. Parameter boron (Bo)

Di bawah ini adalah hasil analisis parameter boron dengan metode spektrofotometrik di laboratorium pada 5 sampel air yang diambil.



Gambar 3. Hasil analisis laboratorium parameter boron

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa dari kelima sampel air, kesemuanya memiliki kandungan boron di bawah 1 mg/l, sehingga masih dapat dipakai untuk hampir semua tanaman.

Setiap tanaman punya tingkat kepekaan sendiri-sendiri terhadap unsur boron, ada tanaman yang peka, agak peka, serta tahan terhadap unsur boron. Berdasarkan penelitian Sugiharyanto dan Heru Pramono, (1988:10), diketahui bahwa tanaman padi yang dominan ditanam di daerah penelitian termasuk dalam kategori tanaman agak peka terhadap unsur boron.

Selanjutnya berdasarkan kandungan boron untuk tanaman pertanian padi yang termasuk agak peka/semi toleran terhadap unsur boron, dapat diketahui kelima sampel air masuk kategori "baik sekali" untuk irigasi pertanian karena kelima sampel air memiliki kandungan boron < 0,67 mg/l.

3. Persentase natrium (% Na)

Persentase natrium merupakan nilai dari besarnya natrium bagi jumlah natrium, kalium, kalsium, dan magnesium dalam satuan miliequivalen tiap liter dikali 100%.

Perhitungan persentase natrium adalah sebagai berikut:

$$\% \text{ Na} = \frac{\text{Na}}{\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}} \times 100\%$$

Diketahui:

Satuan masa atom Na = 23, K = 39, Ca = 40, dan Mg = 24, sehingga:

- a. Kandungan Na, K, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Gendol adalah: 50,7780; 29,5075; 38;11, maka perhitungan % Na adalah:

$$\begin{aligned} \% \text{ Na} &= \frac{\text{Na}}{\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}} \times 100\% \\ &= \frac{\left(\frac{50,7780}{23}\right)}{\left(\frac{50,7780}{23}\right) + \left(\frac{29,5075}{39}\right) + \left(\frac{38}{40}\right) + \left(\frac{11}{24}\right)} \times 100\% \\ &= 50,49\% \end{aligned}$$

- b. Kandungan Na, K, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Kuning adalah: 54,2454; 38,2962; 34; 9, maka perhitungan % Na adalah:

$$\begin{aligned} \% \text{ Na} &= \frac{\text{Na}}{\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}} \times 100\% \\ &= \frac{\left(\frac{54,2454}{23}\right)}{\left(\frac{54,2454}{23}\right) + \left(\frac{38,2962}{39}\right) + \left(\frac{34}{40}\right) + \left(\frac{9}{24}\right)} \times 100\% \\ &= 51,66\% \end{aligned}$$

- c. Kandungan Na, K, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Gajah Wong adalah: 57,2130; 33,6479; 48; 6, maka perhitungan % Na adalah:

$$\begin{aligned} \% \text{ Na} &= \frac{\text{Na}}{\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}} \times 100\% \\ &= \frac{\left(\frac{57,2130}{23}\right)}{\left(\frac{57,2130}{23}\right) + \left(\frac{33,6479}{39}\right) + \left(\frac{48}{40}\right) + \left(\frac{6}{24}\right)} \times 100\% \\ &= 51,82\% \end{aligned}$$

- d. Kandungan Na, K, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Code adalah: 58,6138; 34,2463; 44; 13, maka perhitungan % Na adalah:

$$\% \text{ Na} = \frac{\text{Na}}{\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}} \times 100\%$$

$$= \frac{\left(\frac{58,6138}{23}\right)}{\left(\frac{58,6138}{23}\right) + \left(\frac{34,2463}{39}\right) + \left(\frac{44}{40}\right) + \left(\frac{13}{24}\right)} \times 100\%$$

$$= 50,28\%$$

- e. Kandungan Na, K, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Oyo adalah: 50,8273; 26,9258; 56; 11, maka perhitungan % Na adalah:

$$\% \text{ Na} = \frac{\text{Na}}{\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}} \times 100\%$$

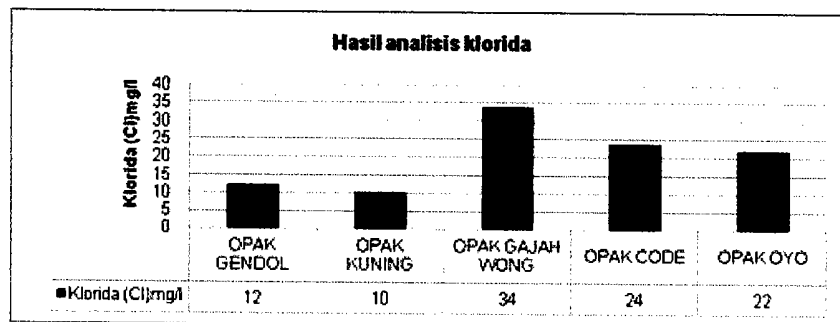
$$= \frac{\left(\frac{50,8273}{23}\right)}{\left(\frac{50,8273}{23}\right) + \left(\frac{26,9258}{39}\right) + \left(\frac{56}{40}\right) + \left(\frac{11}{24}\right)} \times 100\%$$

$$= 46,18\%$$

Berdasarkan hasil persentase natrium, maka kelima sampel air Sungai Opak untuk irigasi masuk kelas III atau kriteria "agak baik" untuk irigasi pertanian karena kelima sampel air memiliki persentase natrium >40-60%.

4. Parameter Klorida (Cl⁻)

Di bawah ini adalah hasil analisis parameter klorida dengan metode uji SNI 06-6989.19-2009 di laboratorium pada 5 sampel air yang diambil.

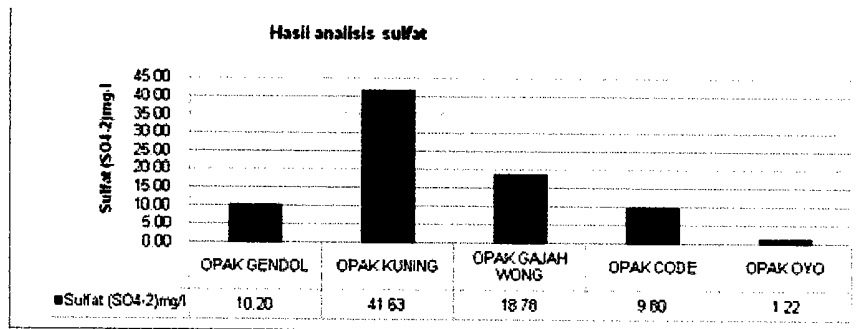


Gambar 4. Hasil analisis laboratorium parameter klorida

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa dari kelima sampel air, kesemuanya memiliki kandungan klorida tinggi. Selanjutnya berdasarkan kandungan klorida, dapat diketahui sampel air pertemuan Sungai Opak-Gendol dan Opak-Kuning masuk kategori "agak baik" untuk irigasi pertanian karena memiliki kandungan klorida >7-12.10⁶ ppm atau >7-12 mg/l, sampel air pertemuan Sungai Opak-Code dan Opak-Oyo masuk kategori "kurang baik" untuk irigasi pertanian karena memiliki kandungan klorida >12-30.10⁶ ppm atau >12-30 mg/l, dan sampel air pertemuan Sungai Opak-Gajah Wong masuk kategori "kurang sesuai" untuk irigasi pertanian karena memiliki kandungan klorida > 30.10⁶ ppm atau > 30 mg/l.

5. Parameter Sulfat (SO₄²⁻)

Di bawah ini adalah hasil analisis parameter sulfat dengan metode uji SNI 06-6989.20-2009 di laboratorium pada 5 sampel air yang diambil.



Gambar 5. Hasil analisis laboratorium parameter sulfat

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa kandungan sulfat tertinggi di pertemuan Sungai Opak-Kuning dengan kandungan sulfat sebesar 41,63 mg/l, sedangkan yang terendah di pertemuan Sungai Opak Oyo yaitu sebesar 1,22 mg/l.

Selanjutnya berdasarkan kandungan sulfat, dapat diketahui pertemuan Sungai Opak-Oyo masuk kategori "sangat baik" untuk irigasi pertanian (kandungan sulfat 0-4 mg/l), pertemuan Sungai Opak-Gendol dan Opak-Code masuk kategori "agak baik" untuk irigasi pertanian (kandungan sulfat >7-12 mg/l), pertemuan Sungai Opak-Gajah Wong masuk kategori "kurang baik" untuk irigasi pertanian (kandungan sulfat >12-30 mg/l), dan pertemuan Sungai Opak-Kuning masuk kategori "kurang sesuai" untuk irigasi pertanian (kandungan sulfat > 30 mg/l).

6. Sodium Adsorption Ratio (SAR)

Nilai SAR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg):2}}$$

Diketahui:

Satuan masa atom Na = 23, Ca = 40, dan Mg = 24, sehingga:

- a. Kandungan Na, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Gendol adalah: 50,7780; 38;11, maka perhitungan SAR adalah:

$$\begin{aligned} SAR &= \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg):2}} \\ &= \frac{\left(\frac{50,7780}{23}\right)}{\sqrt{\left(\left(\frac{38}{40}\right) + \left(\frac{11}{24}\right)\right):2}} \\ &= 2,6307 \end{aligned}$$

- b. Kandungan Na, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Kuning adalah: 54,2454; 34; 9, maka perhitungan SAR adalah:

$$\begin{aligned} SAR &= \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg):2}} \\ &= \frac{\left(\frac{54,2454}{23}\right)}{\sqrt{\left(\left(\frac{34}{40}\right) + \left(\frac{9}{24}\right)\right):2}} \\ &= 3,0137 \end{aligned}$$

- c. Kandungan Na, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Gajah Wong adalah: 57,2130; 48; 6, maka perhitungan SAR adalah:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg):2}}$$

$$= \frac{\left(\frac{57,2130}{23}\right)}{\sqrt{\left(\left(\frac{48}{40}\right) + \left(\frac{6}{24}\right)\right):2}}$$
$$= 2,9213$$

- d. Kandungan Na, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Code adalah: 58,6138; 44; 13, maka perhitungan SAR adalah:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg}):2}}$$
$$= \frac{\left(\frac{58,6138}{23}\right)}{\sqrt{\left(\left(\frac{44}{40}\right) + \left(\frac{13}{24}\right)\right):2}}$$
$$= 2,8128$$

- e. Kandungan Na, Ca dan Mg pada titik sampel Opak-Oyo adalah: 50,8273; 56; 11, maka perhitungan SAR adalah:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg}):2}}$$
$$= \frac{\left(\frac{50,8273}{23}\right)}{\sqrt{\left(\left(\frac{56}{40}\right) + \left(\frac{11}{24}\right)\right):2}}$$
$$= 2,2761$$

Berdasarkan nilai SAR, maka kelima sampel air Sungai Opak untuk irigasi masuk kelas I atau kriteria “sangat baik” untuk irigasi pertanian karena kelima sampel air memiliki nilai SAR ≤ 10 .

D. Status kekritisitas DAS Opak saat ini

Dengan melihat potensi curah hujan, debit, indeks bahaya erosi, dan kualitas air untuk irigasi pertanian maka status DAS Opak saat ini belum kritis. Namun demikian mengingat banyaknya permasalahan yang terjadi dalam pengelolaan sumber daya air Sungai Opak maka upaya konservasi perlu terus ditingkatkan untuk menjamin keberlanjutannya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi curah hujan stasiun pengukur hujan di DAS Opak relatif tinggi, kecuali stasiun Sorogedug, sedangkan potensi debit di wilayah Sungai Opak masih memungkinkan untuk pemenuhan kebutuhan irigasi pertanian, namun pada musim kemarau potensi debit mengalami penurunan signifikan sehingga bagi beberapa wilayah yang jauh dari sumber air akan mengalami kendala dalam pemenuhannya.
2. Indeks bahaya erosi bagian hulu Sungai Opak masuk kategori tinggi, sedangkan yang lain masuk kategori rendah dan sedang karena kemiringan lereng relatif kecil sehingga penggunaan lahan didominasi pertanian padi dengan sistem irigasi.
3. Kualitas air Sungai Opak baik untuk irigasi pertanian, kecuali parameter klorida dan sulfat, namun kedua unsur ini bukan parameter permanen sehingga tidak begitu menimbulkan permasalahan.
4. Status DAS Opak saat ini masih belum kritis, namun dengan banyaknya permasalahan yang ada perlu upaya konservasi untuk menjaga keberlanjutannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Chay Asdak. (2007). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ersin Seyhan. (1995). *Dasar-Dasar Hidrologi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kartasapoetra dan Mul Mulyani. (1994). *Teknologi Pengairan Irigasi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Mahida. (1986). *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: CV Rajawali.
- Masri Singarimbun dan Sofyan Effendi. (1989). *Metode Penelitian Survei*. Jakarta: LP3ES.
- Moh. Pabundu Tika. (2005). *Metode Penelitian Geografi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Sitanala Arsyad. (2010). *Konservasi Tanah & Air*. Bogor: Penerbit IPB Press.
- Sugiharyanto dan Heru Pramono. (1988). *Dampak Limbah Kota Terhadap Kualitas Air Sungai di Yogyakarta. Laporan penelitian*. Yogyakarta: FPIS IKIP Negeri Yogyakarta.
- Sugiharyanto, dkk. (2011). *Kajian Kelas Air Sungai Opak Pasca Erupsi Gunung Merapi Tahun 2010. Laporan Penelitian*. Yogyakarta: FIS UNY.
- Suharsimi Arikunto. (2006). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktis*. Jakarta: Bina Aksara.
- Suyono Sosrodarsono. (2006). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- <http://repository.ipb.ac.id>. diakses tanggal 10 Oktober 2012 pukul 08.30 WIB.