

## APLIKASI CITRA LANDSAT 8 OLI UNTUK IDENTIFIKASI STATUS TROFIK WADUK GAJAH MUNGKUR WONOGIRI, JAWA TENGAH

Kusuma Wardani Laksitaningrum  
laksitaningrum@gmail.com

Totok Gunawan dan Wirastuti Widyatmanti  
totokgunawan@yahoo.com dan wwidyatmanti@ugm.ac.id

### ABSTRACT

*Gajah Mungkur Reservoir located in the Pokoh Kidul Village, Wonogiri. The water conditions affected by climatological factors, physical factors, and artificial factors of human activities that can contribute nutrients that affect on the trophic state. The purpose of this study are 1) assessing the Landsat 8 OLI capabilities to obtain parameters that are used to assess its trophic state, 2) identifying and mapping the trophic state based on parameters derived from Landsat 8 OLI 3) evaluating the results of the mapping and the benefits of remote sensing imagery for identification its trophic state.*

*Identification of trophic state based on Carlson's (1997) Trophic State Index (TSI): water clarity, total phosphorus, and chlorophyll-a. The model based on an empirical formula of regression between measurements in the field and the pixel values in Landsat 8 OLI. Model is selected on the highest value towards coefficient of determination ( $R^2$ ).*

*The results show that  $R^2$ : water clarity is 0,813, total phosphorus is 0,268, and chlorophyll-a is 0,584. TSI calculation is 36,77 until 80,18. Both of the most distribution are mild eutrophication and moderate eutrophication. Its showing that the high level of trophic state and may harm the other living thing. The evaluation of the mapping based on RMSE: water clarity is 0,15 m, total phosphorus is 54,16 mg/m<sup>3</sup>, and chlorophyll-a is 3,26 mg/m<sup>3</sup>. Landsat 8 OLI be able to provide information of trophic state parameters but calculation of combinations aren't accordance with existing condition due to the effect of the image accuracy for extracting information.*

**Key words:** *Gajah Mungkur Reservoir, Landsat 8 OLI, Regression, TSI, Trophic State*

### ABSTRAK

Waduk Gajah Mungkur (WGM) terletak di Desa Pokoh Kidul, Kecamatan Wonogiri. Kondisi perairan WGM dipengaruhi oleh faktor klimatologis, fisik, dan aktivitas manusia yang dapat menyumbang nutrisi sehingga mempengaruhi status trofiknya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk 1) mengkaji kemampuan Citra Landsat 8 OLI untuk memperoleh parameter-parameter yang digunakan untuk menilai status trofik WGM, 2) menentukan dan memetakan status trofik WGM berdasarkan parameter-parameter yang diperoleh dari Citra Landsat 8 OLI, dan 3) mengevaluasi hasil pemetaan dan manfaat citra penginderaan jauh untuk identifikasi status trofik WGM. Identifikasi status trofik dilakukan berdasarkan metode *Trophic State Index* (TSI) Carlson (1997) yang menggunakan tiga parameter yaitu kejernihan air, total fosfor, dan klorofil a. Model yang diperoleh berdasar pada rumus empiris dari hasil uji regresi antara pengukuran di lapangan dan nilai piksel di citra Landsat 8 OLI. Model dipilih berdasarkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) tertinggi. Hasil penelitian merepresentasikan bahwa nilai  $R^2$  kejernihan air sebesar 0,813, total fosfor sebesar 0,268, dan klorofil a sebesar 0,584. Hasil kalkulasi TSI sebesar 36,77 – 80,18. Distribusi terbesar adalah eutrofik ringan dan sedang. Hal tersebut menunjukkan tingkat kesuburan perairan tinggi dan dapat membahayakan makhluk hidup lain. Evaluasi pemetaan berdasar pada nilai RMSE yaitu kejernihan air sebesar 0,15 m, total fosfor sebesar 54,16 mg/m<sup>3</sup>, dan klorofil a sebesar 3,26 mg/m<sup>3</sup>. Citra Landsat 8 OLI mampu memberikan informasi parameter status trofik tetapi terdapat hasil kalkulasi kombinasi saluran yang tidak sesuai dengan kondisi lapangan karena pengaruh ketelitian citra dalam menyadap informasi.

**Kata kunci:** Waduk Gajah Mungkur, Citra Landsat 8 OLI, Regresi, TSI, Status Trofik

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Waduk Gajah Mungkur (WGM) merupakan bendungan buatan yang memiliki luas genangan maksimum sebesar 8800 ha (Dinas Pekerjaan Umum (DPU), 2010) dengan volume maksimum sebesar 735 km<sup>3</sup> (Balai Pengelola Sumber Daya Air (BPSDA) Bengawan Solo, 2012). WGM memiliki muara dari delapan sub DAS yaitu sub DAS Keduang, Wiroko, Temon, Solo Hulu, Alang, Unggahan, Wuryantoro, dan Remnant. WGM merupakan Bendungan Serbaguna yang mempunyai lebih dari satu fungsi. Fungsi dari WGM adalah sebagai sarana untuk mengendalikan banjir (*flood control*), PLTA, meningkatkan perikanan darat dan kegiatan pariwisata, menambah area irigasi di bagian hilir, memasok air baku untuk Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) yang kemudian dipasok ke rumah tangga dan industri. Bendungan juga berfungsi menahan sedimen terlarut dari bagian hulu dan meningkatkan intensifikasi pertanian di daerah hilir (Molo dkk, 2012).

Kondisi hidrologi WGM sangat dipengaruhi oleh kondisi klimatologis, fisik, dan aktivitas manusia di daerah tangkapan air (DTA). Aktivitas manusia di DTA dalam pemanfaatan lahan seperti pertanian, peternakan, penebangan pohon, pertambangan, permukiman, dan industri (Pujiastuti, 2013 dan Wiryanto, 2013), serta aktivitas alam

seperti erosi, longsor, dan banjir menyebabkan banyaknya limbah dan sedimen melalui sungai di sub DAS yang masuk ke waduk (Wiryanto, 2013 dan Trisakti, dkk, 2014). Aktivitas perikanan dengan keramba jaring apung (KJA) seperti pemberian pakan ikan yang melebihi takaran dan buangan kotoran ikan menyebabkan penambahan nutrisi di perairan (Pujiastuti, 2013). Kelimpahan limbah dan sedimen yang mengandung bahan organik dan anorganik akan menyebabkan terjadinya eutrofikasi/ *blooming alga* (Effendi, 2003).

Eutrofikasi adalah pengkayaan air dengan nutrisi yang dibutuhkan oleh tumbuhan dan menyebabkan peningkatan produktivitas primer perairan (Effendi, 2003). Akibat eutrofikasi adalah munculnya populasi plankton, meningkatkan zat berbahaya, meningkatkan jumlah bakteri, perairan menjadi keruh, dan *Dissolve Oxygen* (DO) berkurang saat malam hari menyebabkan kondisi anaerob yang menyebabkan kematian ikan (Klapper, 1991).

Landsat 8 OLI mampu memberikan informasi status trofik di WGM dengan parameter yang dapat diturunkan dari citra yaitu kejernihan/ *secchi disk transparency* (SDT), kandungan fosfor/ *total phosphorus* (TP), dan klorofil a / *Chlorophyll a* (CA) sebagai faktor pembatas eutrofikasi dengan metode *Trophic State Index* (TSI) dari

Carlson. Akan tetapi, waduk bersifat dinamis yaitu terdapat faktor dinamika kondisi fisik, kimia dan biologi serta pola operasional waduk. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan model regresi dari data citra dengan data lapangan/ *in situ* yang dapat diterapkan di WGM untuk menentukan rumus empiris sehingga pemantauan status trofik dapat dilakukan dari citra dengan akuisisi data lebih cepat dan akurat dibandingkan dengan metode konvensional yang umumnya membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang mahal.

### **Tujuan**

Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. mengkaji kemampuan Citra Landsat 8 OLI untuk memperoleh parameter-parameter yang digunakan untuk menilai status trofik Waduk Gajah Mungkur,
2. menentukan dan memetakan status trofik Waduk Gajah Mungkur berdasarkan parameter-parameter yang diperoleh dari Citra Landsat 8 OLI, dan
3. mengevaluasi hasil pemetaan dan manfaat citra penginderaan jauh untuk identifikasi status trofik Waduk Gajah Mungkur.

### **DATA DAN METODE**

#### **Daerah Kajian**

Secara administratif, sebagian besar bagian WGM berada di wilayah Kabupaten Wonogiri,

Provinsi Jawa Tengah, dan sebagian kecil lainnya berada di wilayah Kabupaten Pacitan, Propinsi Jawa Timur dan Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Berdasarkan letak geografisnya lokasi WGM terletak di koordinat  $7.83061^{\circ}$  -  $7.97369^{\circ}$  LS dan  $110.887^{\circ}$  -  $110.931^{\circ}$  BT.

### **Data**

#### a. Data Citra

Citra yang digunakan dalam penelitian adalah Citra Landsat 8 OLI pada gelombang tampak yaitu saluran biru, hijau, dan merah. Citra tersebut direkam pada tanggal 8 Mei 2016 pada *path/ row* 119/66 yang digunakan untuk uji model dan uji akurasi di lapangan.

#### b. Data Pengukuran Lapangan

Data pengukuran lapangan dilakukan pada tanggal 9 dan 10 Mei 2016, yaitu satu dan dua hari setelah perekaman citra dengan justifikasi bahwa dalam kurun waktu lebih atau kurang 7 hari dari data perekaman masih dapat menghasilkan model regresi yang baik (USGS, 2011).

##### 1. Kejernihan Air

Pengambilan data kejernihan atau transparansi perairan menggunakan alat *secchi disk*. Ukuran kejernihan tersebut dinyatakan dalam satuan meter. Jumlah sampel yang diukur adalah 34, yaitu 17 sampel untuk uji validasi dan 17 sampel untuk uji akurasi.

## 2. Total Fosfor

Pengambilan data total fosfor dilakukan dengan menggunakan *water sampler*. Pengambilan sampel dilakukan air permukaan karena spektral masih mampu menembus dan memantulkan objek dalam kolom air permukaan. Total fosfor dinyatakan dalam satuan  $\text{mg}/\text{m}^3$  atau  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Jumlah sampel yang diukur adalah 30, yaitu 16 sampel untuk uji validasi dan 14 sampel untuk uji akurasi.

## 3. Klorofil a

Pengambilan data sampel klorofil a menggunakan alat *plankton net*. Teknik pengambilan sampel klorofil a sama dengan sampel total fosfor. Satuan klorofil a yang digunakan adalah  $\text{mg}/\text{m}^3$  atau  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Jumlah sampel yang diukur adalah 23, yaitu 12 sampel untuk uji validasi dan 11 sampel untuk uji akurasi.

## Metodologi

### a. Pemrosesan Citra

Pemrosesan citra dilakukan dengan beberapa tahap yaitu koreksi radiometrik, koreksi atmosferik, koreksi geometrik, dan masking citra. Koreksi radiometrik adalah mengubah nilai *digital number* (DN) menjadi *Top of Atmosphere* (ToA) *Reflectance* terkoreksi sudut matahari. Koreksi atmosferik adalah mengubah nilai ToA menjadi nilai *surface reflectance*. Koreksi yang digunakan adalah koreksi relatif yaitu menggunakan metode penyesuaian histogram (*Dark*

*Ground Feature Subtraction*) untuk menghilangkan efek hamburan di atmosfer. Koreksi geometrik bertujuan untuk menyamakan citra dengan koordinat lokal. Koreksi dilakukan dengan metode *image to map* yaitu menggunakan peta RBI skala 1:25.000 karena peta dianggap memiliki proyeksi dan datum yang lebih akurat walaupun citra sudah terkoreksi terrain (1T). Masking citra adalah proses memisahkan antara obyek air WGM dan daratan untuk memudahkan analisis data. Masking dilakukan dengan dua tahapan, yaitu masking menggunakan *Region of Interest* (ROI) kemudian menggunakan data vektor *shapefile*.

### b. Regresi

Analisis regresi dilakukan untuk mendapatkan hubungan fungsional antara dua variabel atau lebih dan mengetahui pengaruh antara variabel independen terhadap variabel dependen. Variabel indepen meliputi nilai spektral saluran-saluran pada citra dari hasil penisbahan saluran atau *band math* sedangkan variabel dependennya adalah data pengukuran lapangan. Penisbahan saluran melibatkan saluran biru (B2), hijau (B3), dan merah (B4). Variabel independen terdiri dari beberapa algoritma prediksi dari masing-masing parameter yang diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) tertinggi pada

masing-masing parameter yang digunakan dalam pemodelan.

Kejernihan air yang digunakan dalam regresi adalah logaritma natural (ln) yang menggunakan 2 prediksi algortima yaitu B2/B4 dan B2 dengan B2/B4. Pemodelan menggunakan rasio B2/B4 dengan R<sup>2</sup> sebesar 0,813. Persamaan yang diperoleh adalah  $Y = -3,307 + 2,183 X$ , X yaitu B2/B4, sedangkan prediksi kedua tidak digunakan karena tidak memenuhi syarat regresi. Untuk mengubah nilai menjadi satuan meter, maka nilai dikembalikan dengan cara memangkatkan nilai e yaitu 2,718 dengan hasil persamaan model.

Total fosfor yang digunakan dalam regresi adalah ln dengan satuan mg/L yang menggunakan 1 prediksi yaitu B2; B2/B4; dan B4/B3. Regresi yang diuji adalah regresi linear berganda karena melibatkan 3 prediktor. Nilai R<sup>2</sup> yang diperoleh tergolong kecil yaitu 0,268 dengan persamaan  $Y = -1,607 + 30,556X1 - 0,856X2 - 1,777X3$ , dimana X1 adalah B2, X2 adalah B2/B4, dan X3 adalah B4/B3. Untuk mengembalikan nilai menjadi satuan mg/m<sup>3</sup> atau µg/L adalah memangkatkan nilai e dengan hasil model dan dikalikan penyebut 1000.

Klorofil a menggunakan 5 prediksi yaitu  $0,098 * ((B2 - B4) / B3)$ , B3/B4, B2/B4, B3/B2, dan  $(B2 - B4) / (B3 - B4)$ . Pemodelan menggunakan rasio B2/B4 karena memiliki nilai R<sup>2</sup> tertinggi yaitu

0,584. Persamaan yang diperoleh adalah  $Y = 54,052 - 34,620X$ , dimana X adalah B2/B4.

### c. Perhitungan TSI Carlson

Hasil perhitungan model regresi kemudian diklasifikasikan menjadi 7 kelas yaitu ultraligotrofik, oligotrofik, mesotrofik, eutrofik ringan, eutrofik sedang, eutrofik berat, dan hipereutrofik. Klasifikasi tersebut berdasar pada klasifikasi menurut Kementrian Negara Lingkungan Hidup tahun 2008 yang diadopsi dari klasifikasi Carlson (1977) dimana klasifikasi tersebut dijadikan sebagai dasar penentuan kelas eutrofik di wilayah tropis. Berikut adalah perhitungan TSI:

- a. TSI untuk kejernihan air (SD)  
 $TSI (SD) = 60 - 14.41 \ln Secchi\ depth (meter)$
- b. TSI untuk total fosfor (TP)  
 $TSI (TP) = 14.42 \ln Total\ Phosporus (\mu g/L) + 4.15$
- c. TSI untuk klorofil-a (CA)  
 $TSI (CA) = 9.81 \ln Chlorophyll-a (\mu g/L) + 30.6$

Nilai-nilai tersebut dirata-ratakan dan dipetakan untuk mengetahui kelas trofiknya sehingga diperoleh distribusi tingkat trofik di perairan Waduk Gajah Mungkur. Berikut adalah persamaan untuk mengetahui distribusi kelas trofik:

$$(CTSI) = [TSI (SD) + TSI (TP) + TSI (CA)] / 3$$

d. Uji Akurasi Pemetaan

Uji akurasi yang dilakukan berdasar pada *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk menilai perbedaan antara data lapangan yang digunakan untuk regresi dan yang tidak digunakan untuk regresi. Nilai RMSE tersebut mengikuti satuan pada ketiga parameter tersebut. Semakin kecil nilai RMSE maka semakin kecil pergeseran nilai dan sebaliknya. Nilai RMSE kejernihan adalah 0,15 m. Nilai RMSE total fosfor adalah 54,16 mg/m<sup>3</sup>. Nilai RMSE klorofil a adalah 3,26 mg/m<sup>3</sup>.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

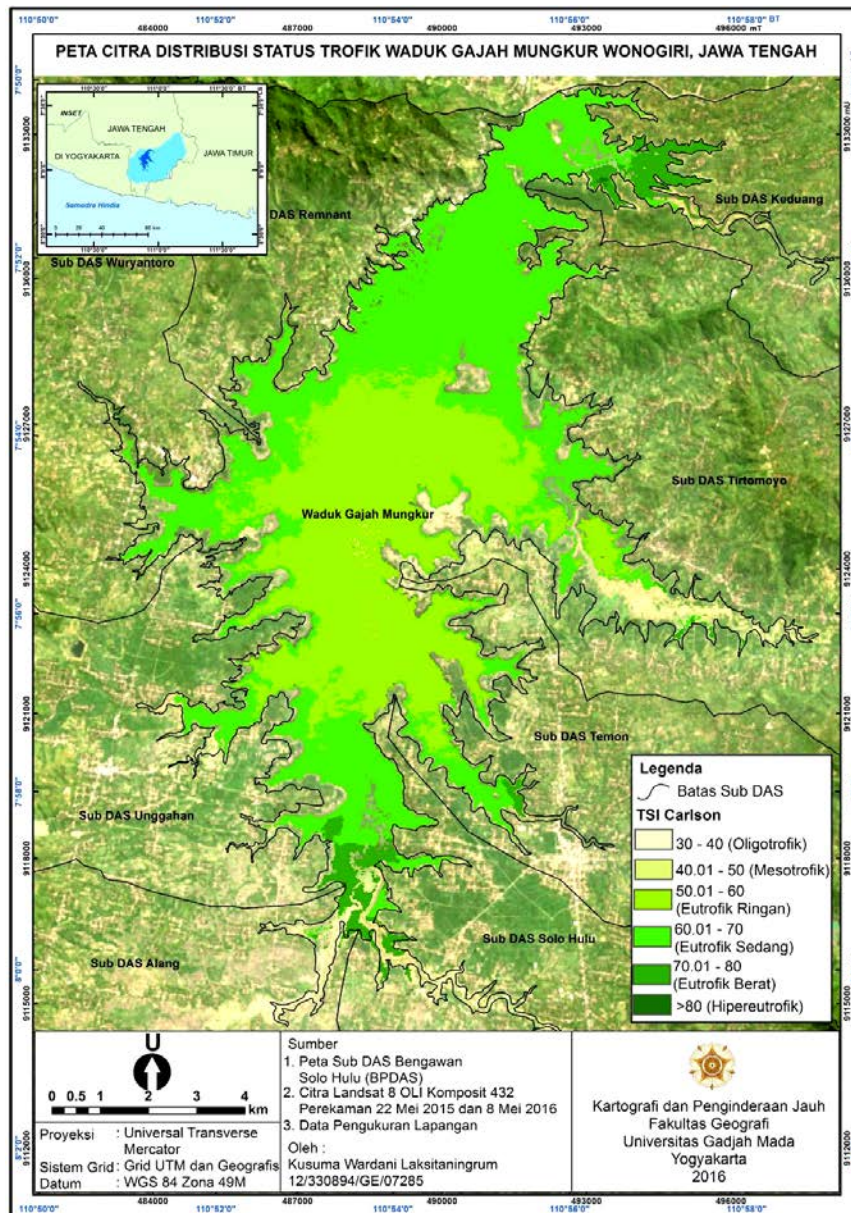
### Analisis Statistik Kemampuan Citra

Analisis statistik bertujuan untuk menghasilkan model untuk pemetaan status trofik dengan menggunakan uji regresi linear sederhana dan berganda. Hasil penelitian merepresentasikan bahwa nilai  $R^2$  kejernihan air sebesar 0,813, total fosfor sebesar 0,268, dan klorofil a sebesar 0,584. Nilai  $R^2$  yang mendekati 1, maka semakin baik model regresi dapat menjelaskan suatu parameter status trofik dan validitasnya semakin bagus. Dengan demikian, semakin valid model maka semakin baik kemampuan saluran

citra dalam menyadap informasi objek di permukaan bumi.

### Identifikasi Status Trofik WGM

Status trofik WGM dapat diidentifikasi menggunakan nilai indeks rata-rata dari parameter kejernihan air, total fosfor, dan klorofil a. Nilai tersebut diperoleh dari nilai model regresi terbaik kemudian dikelaskan berdasarkan metode TSI Carlsön. Hasil perhitungan diperoleh nilai indeks status trofik antara 36,77 sampai 80,18 sehingga distribusi kelas status trofik terdiri dari oligotrofik, mesotrofik, eutrofik ringan, eutrofik sedang, eutrofik berat, dan hipereutrofik yang direpresentasikan pada Gambar 1. Distribusi oligotrofik dan mesotrofik sangat kecil yaitu di bagian tengah timur WGM. Distribusi eutrofik ringan terletak di bagian selatan dan tengah WGM dengan distribusi yang luas. Distribusi eutrofik sedang di tepi waduk, bagian utara WGM, dan di zona KJA. Distribusi eutrofik berat terdapat di muara sungai di Sub DAS Keduang, Alang, dan Solo Hulu. Distribusi hipereutrofik terletak di muara sungai di Sub DAS Keduang dengan distribusi yang sangat kecil.



Gambar 1. Peta Distribusi Status Trofik WGM Wonogiri, Jawa Tengah

Berdasarkan distribusinya, eutrofik ringan dan eutrofik sedang mendominasi di perairan WGM. Hal tersebut menunjukkan bahwa sumber nutrisi dominan dari aliran sungai daripada di KJA karena lebih banyak menyumbang zat hara yang dibutuhkan oleh organisme perairan terutama alga, baik yang tumbuh di dasar perairan, melekat pada

sedimen, maupun yang melayang di air permukaan. Sumber nutrisi yang tinggi bersumber pada tepi WGM dimana distribusi eutrofik berat terdapat di muara sungai di Sub DAS Keduang, Alang, dan Solo Hulu. Sub DAS Keduang adalah sub DAS yang membawa material sedimen terbesar karena memiliki luas yang paling besar di DTA WGM, terdapat

banyak anak sungai dari lereng Gunung Lawu, kondisi topografi berbukit dan bergunung, sehingga tanah mudah terosi dimana dominasi tanah di Keduang adalah latosol dan mediteran yang peka terhadap erosi. Selain itu, aktivitas pertanian dengan penggunaan pupuk dan aktivitas lainnya yang menghasilkan limbah industri, domestik, pariwisata, dan pertambangan, serta aktivitas penebangan pohon sehingga tanah rentan terhadap erosi menyebabkan penambahan nutrisi baik dari bahan organik maupun anorganik.

Perbedaan musim sangat mempengaruhi status trofik di WGM dengan perairan yang sangat dinamis, intensitas dan besar curah hujan, aliran air di muara sungai yang berbeda-beda, memiliki sungai yang membawa aliran sedimen yang besar, turbulensi, arus dan gelombang, fluktuasi tinggi pada muka air, gradien longitudinal yang dipengaruhi sungai, dan waktu tinggal air yang pendek. Pengaruh pola operasional waduk seperti penggelontoran sedimen, pengeluaran air untuk irigasi dan PLTA, dan pengambilan air untuk sumber air minum dan industri serta faktor biologi seperti organisme pemangsa fitoplankton atau faktor kimia lainnya dapat menyebabkan dinamika distribusi status trofik.

Kondisi status trofik WGM saat perekaman citra yaitu saat musim peralihan menunjukkan kesuburan perairan yang tinggi dengan

dominasi status trofik eutrofik. Kondisi tersebut dapat memberikan dampak buruk bagi kelangsungan hidup organisme air dan manusia. Status trofik yang tinggi dapat menurunkan oksigen hingga keadaan anaerob dan menurunkan penetrasi cahaya sehingga organisme lain seperti ikan-ikan ekonomis bisa mati, menurunkan kualitas air untuk sumber air minum bagi PDAM, munculnya toksik dan bakteri patogen, dan menurunkan estetika sebagai objek wisata. Status trofik tersebut sebagai indikator pencemaran perairan, semakin tinggi status trofiknya maka semakin tercemar suatu perairan sehingga diperlukan penanganan untuk mengurangi pencemaran tersebut.

### **Evaluasi Hasil Pemetaan dan Manfaat Citra Landsat 8 OLI**

Evaluasi hasil pemetaan status trofik dikatakan baik atau tidak berdasarkan pada uji akurasi pemetaan yang dibandingkan dengan nilai yang terdapat pada citra. Nilai citra tersebut merupakan hasil kalkulasi model regresi dengan validasi nilai per parameter yang berbeda-beda. Semakin baik suatu model maka semakin baik untuk dipetakan, sama dengan nilai  $R^2$  semakin tinggi maka semakin baik model yang digunakan. Nilai  $R^2$  tertinggi yaitu pada parameter kejernihan air, sedangkan terendah adalah total fosfor. Hal tersebut mengakibatkan akurasi pemetaan



yang berbeda pula. Akurasi pemetaan yang digunakan berdasar pada nilai kesalahan RMSE dimana nilai terbaik adalah kejernihan air dan terendah adalah total fosfor. Nilai tersebut merepresentasikan pergeseran antara data di lapangan dan di citra. Semakin kecil pergeseran nilai maka semakin baik peta yang dihasilkan.

Citra Landsat 8 OLI dapat memberikan informasi tentang parameter-parameter fisik seperti kejernihan air dan biologi air seperti klorofil a. Akan tetapi, kurang baik untuk merepresentasikan parameter kimia seperti total fosfor karena kandungan kimia di dalam air sudah terlarut dalam zat cair sehingga sulit untuk diidentifikasi secara visual. Citra penginderaan jauh dapat menerima respon spektral yang berbeda karena setiap objek di permukaan bumi memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Akan tetapi, terdapat objek yang direpresentasikan dari perekaman citra serta hasil kalkulasi saluran di citra untuk pemodelan tidak sesuai dengan kondisi eksisting lapangan. Hal tersebut disebabkan oleh ketidakteelitian perekaman citra dalam menyadap informasi objek di permukaan bumi.

## KESIMPULAN

Kemampuan citra Landsat 8 OLI dalam menilai status trofik WGM dilihat berdasarkan koefisien determinasi ( $R^2$ ). Nilai  $R^2$  yang

mendekati 1, maka semakin baik model regresi dapat menjelaskan suatu parameter status trofik dan validitasnya semakin bagus. Distribusi status trofik WGM didominasi oleh eutrofik ringan dan sedang yang menunjukkan tingkat kesuburan perairan yang tinggi dan dapat membahayakan makhluk hidup lain. Hasil pemetaan diidentifikasi berdasarkan pada nilai RMSE. Semakin kecil nilai RMSE maka semakin kecil kesalahan yang terjadi antara nilai pengukuran lapangan dengan nilai di citra. Berdasarkan uji akurasi pemetaan tersebut maka Citra Landsat 8 OLI baik digunakan untuk kajian status trofik, khususnya parameter kejernihan air dan klorofil a. Akan tetapi, tidak semua hasil perekaman dan kalkulasi di citra dapat menghasilkan informasi yang sama dengan objek di permukaan bumi karena pengaruh ketelitian citra.

## DAFTAR PUSTAKA

- Balai Pengelola Sumber Daya Air Bengawan Solo. (2012). *Informasi Waduk Wonogiri*. Diterima tanggal 7 Oktober 2015, dari [http://bpsda-solo.jatengprov.go.id/index.php?do=w\\_wonogiri](http://bpsda-solo.jatengprov.go.id/index.php?do=w_wonogiri)
- Dinas Pekerjaan Umum. (2010). *Bendungan Wonogiri*. Diterima tanggal 7 Oktober 2015, dari <http://pustaka.pu.go.id/new/infrastruktur-bendungan-detail.asp?id=146>

- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Klapper, H. (1991). *Control of Eutrophication in Inland Water*. USA: Prentice Hall PTR.
- Molo, M., Utami, B., dan Widayanti., E. (2012). Tingkat Penerapan Usaha Tani Lahan Surutan Berbasis Konservasi di Bendungan Gajah Mungkur Kabupaten Wonogiri. *Agriculture Science Journal*, 27:1, hal. 1-10.
- Pujiastuti, P., Ismail, B., dan Pranoto. (2013). Kualitas dan Beban Pencemaran Perairan Waduk Gajah Mungkur. *Jurnal Ekosains*, 5:1, hal. 60-75.
- Trisakti, B., Tjahjaningsih, A., Suwargana, N., Carolita, Ita., dan Mukhoriyah. (2014). *Pemanfaatan Penginderaan Jauh Satelit untuk Pemantauan Daerah Tangkapan Air dan Danau*. Bogor: Maximum.
- United States Geological Survey (USGS). (2011). *Predicting Lake Trophic State by Realigning Secchi-Disk Transparency Measurements to Landsat-Satellite Imagery for Michigan Inland Lakes, 2003-05 and 2008-08*. *Science Investigations Report 2011-5007*.
- Wiryanto. (2013). Model Pengelolaan Perairan Waduk Berdasarkan Tingkat Kesuburan dan Pencemaran Air (Kasus di Waduk Gajah Mungkur Wonogiri Jawa tengah). *Disertasi* (tidak dipublikasikan). Yogyakarta: Prodi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.