

ANALISIS DISTRIBUSI *TOTAL SUSPENDED SOLID* DAN KANDUNGAN KLOROFIL-A PERAIRAN BANJIR KANAL BARAT SEMARANG MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 8 dan SENTINEL-2A

Humaira Qanita^{*)}, Sawitri Subiyanto, Hani'ah

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang Semarang Telp. (024) 76480785, 76480788
 email: geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

Data penginderaan jauh dapat memudahkan dalam penelitian terkait perairan serta pengambilan keputusan maupun pemantauan kondisi perairan dari waktu ke waktu secara efektif. Teknik penginderaan jauh telah digunakan secara luas untuk mengukur parameter kualitatif perairan. Konsentrasi dari klorofil-a dan kandungan *total suspended solids* merupakan beberapa indikator dalam parameter kualitas air yang dapat diperoleh menggunakan data penginderaan jauh. Pada penelitian ini data citra satelit Landsat 8 OLI dan Sentinel-2A MSI digunakan untuk menentukan konsentrasi klorofil-a dan kandungan *total suspended solids* di Perairan Banjir Kanal Barat Semarang. Data citra satelit Landsat 8 dan Sentinel-2A kemudian diproses menggunakan beberapa algoritma penentu konsentrasi klorofil-a dan kandungan *total suspended solids* yang selanjutnya dibandingkan dengan data in-situ perairan. Pengambilan sampel air secara langsung di Banjir Kanal Barat Semarang dilakukan pada tanggal 10 September 2018 yang bertepatan dengan akuisisi data citra Landsat 8 dan selisih kurang dari 48 jam dengan data Sentinel-2A. Sampel yang telah diambil kemudian melalui proses uji laboratorium untuk selanjutnya menjadi parameter penentu algoritma terbaik untuk proses pemetaan distribusi *total suspended solids* dan kandungan klorofil-a Perairan Banjir Kanal Barat Semarang. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dalam rentang enam bulan distribusi *total suspended solids* di Perairan Banjir Kanal Barat didominasi kelas memenuhi baku mutu/kondisi baik (0-1 mg/L) sebesar 42,78 % dan kelas terendah yaitu tercemar sedang (5-10 mg/L) sebesar 12,5%. Sedangkan untuk konsentrasi klorofil-a didominasi status hipereutrof (15-200 mg/m³) 30,7% dan status terendah adalah mesotrof (2-5 mg/m³) 17,1%.

Kata Kunci: Banjir Kanal Barat, Indeks Pencemaran, Klorofil-a, Landsat 8, Sentinel-2A, Status Trofik, *Total Suspended Solids*

ABSTRACT

Remotely sensed data can ease any related water researches, decision makers and also monitoring water conditions from time to time effectively. Remote sensing techniques have been widely used to assess qualitative parameters of waters. Chlorophyll-a concentrations and Total Suspended Solids are some indicators in water quality parameters that can be estimated by using remote sensing data. In this research Landsat 8 OLI imagery and Sentinel-2A MSI are used to obtain the chlorophyll-a and total suspended solids concentrations in Banjir Kanal Barat Semarang. Landsat 8 and Sentinel-2A data are then processed using several chlorophyll-a and total suspended solids determinant algorithms which are then compared to in-situ data of the water. Water sampling works in Banjir Kanal Barat Semarang were conducted on September 10th of 2018, concurrent with the Landsat 8 data acquisition and less than 48 hours difference with the Sentinel-2A data acquisition. Taken sampels are then processed for a laboratory test, so the data can indicate the best algorithm for the mapping process. Based on this research, in a range of six months the total suspended solids distribution in Banjir Kanal Semarang are dominated by well-conditioned (0-1 mg/L) class with 42,78% and moderately polluted (5-10 mg/L) as the lowest class with 12,5%. Meanwhile for chlorophyll-a concentrations in the water are dominated by hipereutroph (15-200 mg/m³) with 30,7% and the lowest was mesotroph (2-5 mg/m³) with 17,1%.

Keywords: *Banjir Kanal Barat, Chlorophyll-a, Landsat 8, Pollution Index, Sentinel-2A, Total Suspended Solids, Trophic Status*

*) Penulis Utama

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Sungai Banjir Kanal Barat merupakan salah satu sungai terbesar di Semarang. Sungai ini memiliki potensi yang cukup besar dalam sektor pariwisata apabila dikelola dengan baik. Sungai ini sempat mengalami beberapa banjir besar akibat banyak terjadinya sedimentasi. Kini Perairan Banjir Kanal Barat sedang dalam upaya pembangunan dan anggaran di APBD Kota Semarang tahun 2018 sebesar 17 milyar telah disiapkan. Upaya membangun Banjir Kanal Barat Semarang sudah berulang kali dicoba, termasuk dengan normalisasi sungai. Namun sedimentasi di Perairan Banjir Kanal Barat terjadi dengan cepat, sehingga sungai tersebut cepat mendangkal (Wahyu, 2018).

Upaya pemerintah dalam membangun Perairan Banjir Kanal Barat selain pada aspek infrastruktur, tentunya perlu fokus pula pada segi kondisi lingkungan terutama perairan Banjir Kanal Barat sendiri. Guna menjadi sebuah objek wisata, tentu perlu sebuah pemantauan pada kualitas perairan di Banjir Kanal Barat yang memang merupakan fokus utama objek wisata. Namun perlu sebuah metode yang efektif dan efisien dalam melakukan proses peninjauan kualitas air sehingga dapat dilaksanakan dalam waktu yang singkat serta tidak memakan banyak biaya. Karena metode penilaian kualitas air yang konvensional cukup memakan waktu yang lama dan biaya yang besar terutama apabila dilakukan pada cakupan wilayah yang luas.

Penginderaan jauh adalah sebuah metode solusi yang memberikan informasi mengenai permukaan bumi dengan cakupan spasial dan temporal yang terus berkembang. Aplikasi penginderaan jauh pada perairan telah digunakan sebagai alternatif yang efektif guna memantau kualitas perairan. Warna dari perairan yang ditangkap oleh aplikasi penginderaan jauh memberikan informasi mengenai sifat-sifat optik dari perairan (Jiangui Liu dkk., 2008).

Konsentrasi klorofil-a pada perairan merupakan parameter yang telah diaplikasikan secara luas untuk menilai kualitas perairan pada danau, terutama pada kualitas trofik. Klorofil-a adalah kandungan utama fotosintesis pada tumbuhan, konsentrasi dari klorofil-a mengindikasikan adanya fitoplankton dan eutrofikasi di perairan. Konsentrasi total suspended solids (TSS) juga merupakan indikator lain untuk penilaian kualitas air. TSS mengandung material terendap baik organik maupun non organik pada perairan. Meningkatnya TSS mengurangi transmisi cahaya yang melalui air sehingga berdampak pada terdapatnya fitoplankton, maka dari itu mengakibatkan berkurangnya produksi utama dari fitoplankton (Wang dkk., 2017).

Terdapat banyak penelitian sebelumnya untuk pemantauan kualitas perairan dengan distribusi total

suspended solids serta kandungan klorofil-a dengan menggunakan citra Landsat 8 yang memang sudah terbit sejak tahun 2013. Pada tahun 2015 pula ESA meluncurkan satelit Sentinel 2 yang memiliki band spectral yang mirip dengan Landsat 8 terlebih Sentinel-2B yang diluncurkan pada tahun 2017 sehingga citra cukup tergolong baru, maka citra Landsat 8 dan Sentinel 2 akan digunakan dalam penelitian ini.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana distribusi *Total Suspended Solids* dan kandungan klorofil-A di Banjir Kanal Barat menggunakan Citra Landsat 8 dan Sentinel-2A?
2. Algoritma yang menghasilkan distribusi *Total Suspended Solid* dan kandungan klorofil-A paling sesuai dengan kondisi langsung di Banjar Kanal Barat?
3. Bagaimana distribusi konsentrasi klorofil-a dan kandungan *total suspended solids* di Perairan Banjir Kanal Barat Semarang pada April dan September 2018?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

I.3.1 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui distribusi *Total Suspended Solid* dan kandungan klorofil-a di Sungai Banjir Kanal Barat pada April dan September 2018 menggunakan citra Landsat 8 dan Sentinel-2A.
2. Mencari algoritma terbaik kandungan klorofil-a dan distribusi *Total Suspended Solids* Perairan Banjir Kanal Barat menggunakan citra Landsat 8 dan sentinel 2A.
3. Memetakan kualitas perairan Sungai Banjir Kanal dari distribusi *Total Suspended Solid* dan kandungan klorofil-a di Sungai Banjir Kanal Barat dengan citra Landsat 8 dan Sentinel 2A.

I.3.2 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberi informasi distribusi *Total Suspended Solid* dan kandungan klorofil-a di Sungai Banjir Kanal Barat April dan September 2018.
2. Memberi informasi metode terbaik untuk mencari tahu nilai distribusi *Total Suspended Solid* dan kandungan klorofil-a di Sungai Banjir Kanal Barat dengan citra Landsat 8 dan sentinel 2A yang sesuai dengan insitu.
3. Memberi sumbangan penelitian terkait distribusi *Total Suspended Solid* dan kandungan klorofil-a di Sungai Banjir Kanal

Barat sebagai pedoman pengelolaan area studi.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

- a. Wilayah Penelitian

Area studi penelitian ini adalah Sungai Banjir Kanal Barat di kota Semarang, Jawa Tengah.
- b. Alat
 - 1) Peralatan Lapangan

Botol air mineral 1500 mL, botol air mineral 600 mL, penggaris 30 cm, *mobile gps*
 - 2) Perangkat Pemroses Data

Laptop, perangkat lunak ENVI 5.3, perangkat lunak SNAP Desktop 6.0, perangkat lunak ArcMAP 10.3, perangkat lunak Microsoft Office, *zotero Standalone, printer.*
- c. Bahan
 - a) Citra Landsat 8 OLI Kota Semarang April dan September 2018
 - b) Citra Sentinel 2A Kota Semarang April dan September 2018
 - c) Data Kandungan *Total Suspended Solids* dan Klorofil-a Banjir Kanal Barat
 - d) Batas Administrasi Kota Semarang.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Pencemaran Air

Pencemaran air menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Tahun 2010 No. 01 Pasal 11 adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu air limbah yang telah ditetapkan.

Sumber pencemaran air dapat dibagi menjadi sumber tunggal seperti saluran atau pipa. Sumber lainnya menyebar dan berhubungan dengan lahan dan kaitannya dengan pergerakan air, manajemen dan penggunaan lahan serta kegiatan manusia pada batas air. Pertanian, industri serta wilayah perkotaan termasuk dalam sumber antropogenik dari zat sumber utama dan lainnya (Ritchie dkk., 2003). Zat pencemar yang menyebabkan penurunan kualitas air sebagian besar berdampak pada air tawar dan ekosistem estuari (Dekker dkk., 1995 dalam Ritchie dkk., 2003).

II.2 Klorofil-A

Konsentrasi klorofil-a pada perairan adalah parameter yang cukup luas digunakan dalam penilaian kualitas air dari danau, terutama karena kualitas trofik (WHO, 2011 dalam Wang dkk., 2017). Klorofil-a merupakan pigmen utama fotosintesis dari semua tumbuhan hidup (Latif dkk., dkk, 2003 dalam Wang

dkk., 2017), konsentrasi dari klorofil-a mengindikasikan biomasa fitoplankton dan eutrofikasi pada danau (Lu dkk., 2016 dalam Wang dkk., 2017).

Kadar tinggi dari nitrogen dan fosfor dapat menjadi indikator dari polusi baik dari sumber yang disebabkan manusia seperti kebocoran saluran pembuangan, instalasi pengolahan air limbah yang tidak berfungsi dengan baik atau pencemaran oleh pupuk. Oleh karena itu, pengukuran klorofil dapat digunakan sebagai indikator tidak langsung dari kadar nutrisi (Higgins, 2014).

II.3 Status Trofik Perairan

Sumber utama penyebab eutrofikasi merupakan kandungan nitrogen dan fosfor berlebih yang bersumber dari kebocoran sistem septik maupun limbah bahan bakar yang masuk ke badan air dan mengalir dan memicu pertumbuhan alga yang berlebihan sehingga menurunkan kualitas air dan ekosistem estuari serta ekosistem laut (NOAA, 2017).

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2009, eutrofikasi diklasifikasikan dalam empat kategori status trofik yaitu:

- 1. Oligotrof

Perairan mengandung unsur hara kadar rendah, kualitas air bersifat alamiah, belum tercemar dari Nitrogen dan Fosfor.
- 2. Mesotrof

Perairan mengandung unsur hara kadar sedang, ada peningkatan kadar Nitrogen dan Fosfor, namun masih dalam batas toleransi.
- 3. Eutrof

Perairan mengandung unsur hara kadar tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar.
- 4. Hipereutrof/Hipertrof

Perairan mengandung unsur hara dengan kadar sangat tinggi, menunjukkan air telah tercemar berat.

Kriteria status trofik perairan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Kriteria Status Trofik Perairan

Status Trofik	Kadar Rata-Rata Klorofil-a (µg/l)
Oligotrof	< 2.0
Mesotrof	< 5.0
Eutrof	< 15
Hipereutrof	≥ 200

II.4 Total Suspended Solids (TSS)

Padatan tersuspensi merupakan massa (mg) atau konsentrasi (mgL-1) dalam zat organik maupun inorganik yang dibawa oleh aliran air, sungai, danau atau pergolakan danau. Padatan tersuspensi biasanya terdiri dari partikel halus dengan diameter kurang dari 62µm (Waters, 1995 dalam Bilotta dan Brazier, 2008), meski demikian penelitian menunjukkan bahwa kebanyakan padatan yang berkumpul sering terbawa dalam akumulasi gumpalan yang besar

(Droppo, 2001 dalam Bilotta dan Brazier, 2008). Setiap sungai memiliki kondisi alami yang membawa padatan tersuspensi (Ryan, 1991 dalam Bilotta dan Brazier, 2008).

II.5 Penentuan Indeks Pencemaran

Konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) dari hasil uji laboratorium digunakan sebagai parameter perhitungan indeks pencemaran yang mengacu Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.115 Tahun 2003 tentang Status Mutu Air sebagai pembandingan dengan baku mutu untuk mengetahui tingkat pencemaran di lokasi titik sampling tersebut. Rumus untuk perhitungan indeks pencemaran dapat dilihat pada **Persamaan (1)**:

$$PI = C_i/L_{ij} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- 0 ≤ PI ≤ 1,0 : Memenuhi baku mutu (kondisi baik)
- 1,0 ≤ PI ≤ 5,0 : Tercemar ringan
- 5,0 ≤ PI ≤ 10 : Tercemar sedang
- PI ≤ 10 : Tercemar berat

II.6 Algoritma Perhitungan Kandungan Klorofil-a

Algoritma klorofil-a yang digunakan dalam penelitian ini ada empat, yaitu algoritma klorofil-a telah diuji oleh Baktiar, 2016 dalam penelitiannya di Banjir Kanal Timur, yaitu algoritma (Nuriya dkk., 2010) dan algoritma klorofil-a terbaik perairan dangkal dalam penelitian (Gumelar dkk., 2018) yaitu algoritma Pentury (1997) dalam (Sidabutar, 2009), algoritma (Arief, 2006) dan untuk citra Sentinel-2A digunakan *Case 2 Regional CoastColour Processor (C2RCC)*.

II.6.1 Algoritma Nuriya dkk (2010)

Berikut ini adalah algoritma yang digunakan (Nuriya dkk., 2010) untuk deteksi kandungan klorofil-a di Selat Madura dapat dilihat pada **Persamaan 2**.

$$c = 0,2818 \times \left(\frac{B5 + B6}{B4} \right)^{3,497} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana :

- C : Konsentrasi klorofil-a (mg/L)
- B4 : Nilai reflektansi kanal 4
- B5 : Nilai reflektansi kanal 5

II.6.2 Algoritma Pentury (1987)

Penelitian oleh (Gumelar dkk., 2018) pada tambak tradisional dan intensif menunjukkan algoritma terbaik untuk mendeteksi kandungan klorofil-a pada perairan dangkal adalah algoritma Pentury (1987) yang melakukan penelitian di Teluk Ambon menggunakan citra Landsat seperti dikutip dalam (Sidabutar, 2009) dapat dilihat pada **Persamaan 3**.

$$Chl a = 2,3868 \left(\frac{B3}{B2} \right) - 0,4671 \dots\dots\dots(3)$$

- Di mana :
- B2 : Kanal biru citra (band 2)

- B3 : Kanal hijau citra (band 3).

II.6.3 Algoritma Arief dan Laksmi (2006)

Persamaan 4 berikut ini adalah algoritma klorofil-a (Arief, 2006) sebelumnya diterapkan pada perairan tambak di Kabupaten Demak:

$$Chl a = 17.912 \times \left(\frac{b1 - b2}{b1 + b2} \right) - 0.3343 \dots\dots\dots(4)$$

Di mana :

- B1 : Kanal biru (Kanal 1 Landsat 7 ETM+)
- B2 : Kanal Hijau (Kanal 2 Landsat 7 ETM+).

II.7 Algoritma Penentuan Konsentrasi TSS

Algoritma dalam penentuan konsentrasi *Total Suspended Solids* dalam penelitian ini akan menggunakan empat algoritma deteksi *total*

- C_i : Konsentrasi parameter kualitas air (TSS) yang diperoleh dari hasil uji laboratorium
- L_{ij} : Konsentrasi parameter kualitas air yang tercantum dalam Baku Mutu Peruntukkan Air.

suspended solids, yaitu yang telah dibandingkan oleh Baktiar, 2016 dalam penelitiannya di Banjir Kanal Barat, yaitu algoritma Budhiman (2004) dan algoritma Laili (2015), salah satu algoritma yang teruji menghasilkan deteksi *total suspended solids* yang baik (Bioresita dkk., 2018), algoritma (Parwati, 2014) dan untuk citra Sentinel-2A digunakan *Case 2 Regional CoastColour Processor (C2RCC)*.

II.7.1 Algoritma Syarif Budhiman (2004)

Berikut ini dapat dilihat algoritma (Budhiman dkk., 2004) yang diaplikasikan pada penelitiannya di Sungai Mahakam pada **Persamaan 5**.

$$TSS (mg/L) = 8,1429 \times \exp^{(23,704 \times Red Band)} \dots\dots\dots(5)$$

Di mana :

- TSS : Total Suspended Solids
- Red Band : Nilai reflektan band merah.

II.7.2 Algoritma Laili (2015)

Algoritma pada **Persamaan 6** ini dikembangkan untuk citra Landsat dengan format reflektan. Perbandingan dua band yaitu band 2 (biru) dan band 4 (merah) digunakan sebagai faktor utama pada algoritma ini (Bioresita dkk., 2018).

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = 31.420 \left(\frac{\log Rrs(\lambda 2)}{\log Rrs(\lambda 4)} \right) - 12.719 \dots\dots\dots(6)$$

Di mana :

- Rrs(λ2) : reflektan band 2
- Rrs(λ4) : reflektan band 4.

II.7.3 Algoritma Parwati (2014)

Algoritma (Parwati, 2014) untuk menentukan kandungan *total suspended solids* dapat dilihat pada **Persamaan 7**.

$$TSS(mg/L) = 3.323 \times \exp(34.099 \times B4) \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

- B4 : Nilai reflektansi band merah.

II.8 Case 2 Regional CoastColour Processor (C2RCC)

Case 2 Regional Processor pada SNAP yang dikembangkan oleh Doerffer dan Schiller menggunakan database simulasi transfer radiatif yang besar dari radiansi pancaran-air (*water-leaving*) “sinyal air” juga radian *top of atmosphere* (“sinyal satelit”). Inversi dari sinyal satelit serta sinyal air dilakukan dengan *neural network* sebagai teknologi dasar. Konsep ini pertama dikenalkan pada akhir 1990-an di MERIS *ground segment* yang kemudian dikembangkan secara publik sebagai prosesor *open source* yang terdapat di perangkat pemroses data pada BEAM EO (C2RCC) (Brockman dkk., 2016).

Processor C2RCC bergantung pada database besar dari simulasi reflektan pancaran-air dan radian dari ToA yang berkaitan. *Neural Networks* diuji dengan tujuan untuk melakukan inversi dari spektrum untuk koreksi atmosfer, yaitu penentuan dari radian pancaran-air dari radian ToA, serta pengambilan optik yang merekam sifat-sifat tubuh air.

Persamaan yang digunakan untuk perhitungan kandungan klorofil-a pada C2RCC processor dapat dilihat pada **Persamaan 8**.

$$chl-a = 21.0 \cdot (ap_a_nn1)^{(1,04)} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :
 ap_a_nn1 : absorpsi oleh pigmen fitoplankton pada 443 nm

Persamaan yang digunakan untuk perhitungan kandungan klorofil-a pada C2RCC processor dapat dilihat pada **Persamaan 9**.

$$tsm = btot_a_nn1 \cdot 1.73 \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan :
 btot_a_nn1 : hamburan oleh partikel pada 443 nm.

II.9 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan analisis statistik yang mempelajari hubungan antara dua variabel atau lebih. Dalam analisis regresi linear diasumsikan berlakunya bentuk hubungan linear dalam parameter. Model regresi linear yang paling sederhana adalah regresi linear dengan satu variabel bebas dan kedua. tentang inferensi dalam analisis regresi.

Analisis regresi linear adalah analisis statistik yang mempelajari hubungan antara dua atau lebih variabel kuantitatif sehingga satu variabel dapat diramalkan dari variabel lainnya. Hubungan antara dua variabel dapat dibedakan menjadi dua, yaitu hubungan fungsional dan hubungan statistik. Hubungan fungsional antara dua variabel dapat dinyatakan secara matematis, jika X variabel bebas (*independent variable*) dan Y variabel tak bebas (*dependent variable*) (Pangesti, 2016).

Apabila terdapat suatu data yang terdiri atas dua atau lebih variabel maka perlu dicari tahu bagaimana variabel-variabel itu saling berhubungan

dan saling mempengaruhi satu sama lain. Hubungan yang didapat pada umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel. Studi yang menyangkut masalah ini dikenal dengan analisis regresi (Tan, 2009 dalam Sari dan Lailiyah, 2013)

III. Metodologi Penelitian

III.1 Data dan Peralatan Penelitian

III.1.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Citra Landsat 8 OLI akuisisi 3 April 2018 dan 10 September 2018
2. Citra Sentinel-2A MSI akuisisi 4 April dan 11 September 2018
3. Data in-situ klorofil-a hasil uji laboratorium
4. Data in-situ *total suspended solids* hasil uji laboratorium
5. *Shapefile* Kota Semarang 2010.

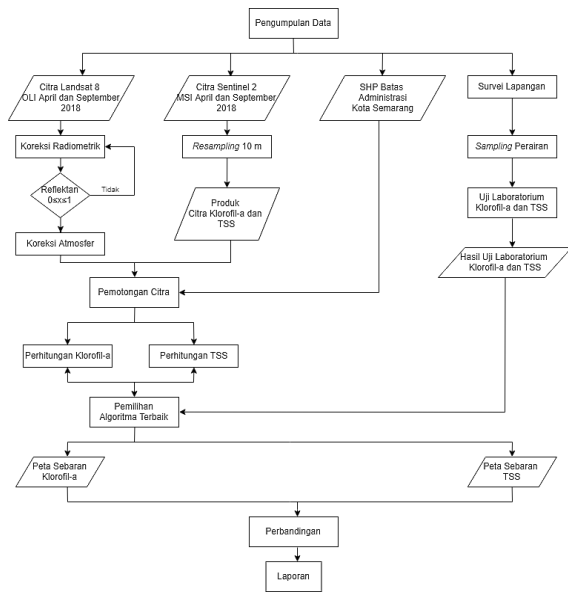
III.1.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk menunjang penelitian ini dibagi menjadi dua macam, yaitu peralatan lapangan untuk pengambilan data in-situ dan peralatan pengolahan data.

1. Peralatan lapangan
 - a. Botol 1,5 L/sampel untuk klorofil-a
 - b. Botol 500 mL/sampel untuk *total suspended solids*
 - c. Penggaris 30 cm
 - d. *Cooling box* yang digunakan untuk menyimpan dan menjaga suhu sampel yang telah diambil
 - e. *Mobile GPS*
 - f. Alat tulis
 - g. Kamera
2. Peralatan pengolahan terbagi menjadi dua bagian yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.
 - a. Perangkat keras

Laptop	:	ASUS X450J Series
Prosesor	:	Intel® Core™ i7-4720HQ CPU @ 2.60 GH 2.59GHZ
RAM	:	4.00 GB
Tipe Sistem	:	64-bit Operating System
 - b. Perangkat lunak
 - 1) ENVI 5.3
 - 2) ArcGis 10.3
 - 3) QGIS 2.18.19 ‘Las Palmas’
 - 4) ESA SNAP Desktop 6.0
 - 5) Microsoft Words 2010
 - 6) Microsoft Excel 2010
 - 7) Zotero Standalone.

III.2 Diagram Alir



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Pada Gambar 1 dapat dilihat diagram alir pelaksanaan yang dilakukan dalam penelitian. Mulai dari pengumpulan data, pengolahan citra Landsat 8, Sentinel-2A, koreksi radiometrik, penerapan algoritma konsentrasi klorofil-a dan kandungan *total suspended solids*, pemrosesan C2RCC untuk citra Sentinel-2A, pemotongan citra, sampai dengan pembuatan peta distribusi kandungan *total suspended solids* dan konsentrasi klorofil-a pada Perairan Banjir Kanal Barat Semarang.

III.3 Pengambilan Data In-Situ

Koordinat dan data in-situ dalam penelitian ini diperoleh dari pengambilan secara langsung sampel di perairan Banjir Kanal Barat. Sampel perairan yang diambil dilakukan secara acak baik pada tepi maupun tengah sungai. Sampel air diambil pada kedalaman ± 30 cm dari permukaan sungai yang kemudian dimasukkan pada botol 1,5 L untuk klorofil-a dan 600 mL untuk *total suspended solids*.

Pada saat yang bersamaan koordinat titik sampel juga diambil dengan menggunakan mobile GPS sebanyak sepuluh titik sampel di sepanjang perairan Sungai Banjir Kanal Barat. Sampel klorofil-a dimasukkan pada botol berukuran 1,5 L sedangkan *total suspended solids* pada botol 500 mL. Botol berisi sampel air yang telah diperoleh kemudian disimpan dalam *cooling box* agar terjaga suhu serta terhindar dari paparan cahaya matahari secara langsung untuk kemudian di uji di laboratorium.

III.4 Pengolahan Data Citra

III.4.1 Perhitungan Klorofil-A

Pembuatan model sebaran kandungan klorofil-a dengan menggunakan Citra Landsat 8 OLI dilakukan dengan melihat nilai reflektan cahaya tampak di badan air sesuai dengan kanal pada citra. Pendugaan model pada penelitian kemudian dilakukan dengan persamaan-persamaan klorofil-a dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini menggunakan algoritma klorofil-a (Arief, 2006), (Nuriya dkk., 2010) dan (Pentury dalam Sidabutar, 2009) pada Citra Landsat 8 OLI dengan fitur band math pada perangkat lunak ENVI. Pada perhitungan klorofil-a citra Sentinel-2 MSI digunakan C2RCC Processor dengan perangkat lunak SNAP dari ESA.

III.4.2 Perhitungan Total Suspended Solids

Membuat model sebaran *total suspended solid* ini menggunakan data Citra Landsat 8 dilakukan dengan melihat nilai reflektan cahaya tampak pada badan air sesuai dengan nilai pada band yang tersedia pada citra. Pada pemodelan digunakan algoritma *total suspended solids* yang diperoleh dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, beberapa diantaranya adalah algoritma Budhiman (2004), Laili (2015) dalam Bioresita dkk. (2018) dan Parwati (2014). Algoritma kemudian diterapkan dengan menggunakan fitur *band math*.

Selanjutnya diperoleh nilai kandungan *total suspended solids* untuk Citra Landsat 8 April dan September 2018 dari algoritma Budhiman dkk. (2004), Laili (2015) dalam Bioresita dkk. (2018) dan Parwati (2014). Pada perhitungan *total suspended solids* citra Sentinel-2 MSI digunakan C2RCC Processor dengan perangkat lunak SNAP dari ESA.

III.4.3 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan analisis statistik yang mempelajari hubungan antara dua variabel atau lebih. Dalam analisis regresi linear diasumsikan berlakunya bentuk hubungan linear dalam parameter. Model regresi linear yang paling sederhana adalah regresi linear dengan satu variabel bebas dan kedua. tentang inferensi dalam analisis regresi.

Apabila terdapat suatu data yang terdiri atas dua atau lebih variabel maka perlu dicari tahu bagaimana variabel-variabel itu saling berhubungan dan saling mempengaruhi satu sama lain. Hubungan yang didapat pada umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel. Studi yang menyangkut masalah ini dikenal dengan analisis regresi (Tan, 2009 dalam Sari dan Lailiyah, 2013).

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Koordinat Sampel dan Data In-Situ

Titik koordinat diambil dengan menggunakan aplikasi *Mobile Topographer* untuk *android*. Jumlah sampel diambil sebanyak sepuluh titik di sepanjang perairan Banjir Kanal Barat Semarang yang kemudian di uji di laboratorium. Koordinat dan hasil uji laboratorium titik sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat titik sampel dan hasil uji laboratorium

Titik	Koordinat		Klorofil-a (mg/m ³)	TSS (mg/L)
	E	N		
P 01	433.990,011	922.6908,131	1,862	0,100
P 02	433.986,590	922.7029,989	1,547	0,020
P 03	434.013,273	922.7175,490	1,640	0,040
P 04	434.005,724	922.7299,206	1,283	0,040
P 05	434.007,867	922.7467,362	0,363	0,040
P 06	433.998,233	922.7648,974	0,777	0,060
P 07	433.973,867	922.7802,140	0,251	0,020
P 08	433.953,825	922.8095,557	0,442	0,060
P 09	433.942,746	922.8269,507	1,019	0,140
P 10	433.925,782	922.8468,997	2,331	0,060

IV.2 Konsentrasi Klorofil-a Citra

Hasil perhitungan konsentrasi klorofil-a Perairan Banjir Kanal Barat Semarang menggunakan algoritma Arief, Nuriya Pentury dan C2RCC bulan April dan September 2018 dapat dilihat pada **Tabel 2,3** dan **Tabel 4**.

Tabel 2. Konsentrasi klorofil-a Citra Landsat 8 April 2018

Titik	Klorofil-A (mg/m ³)		
	Arief	Nuriya	Pentury
P 01	-1,835481	2,36744	2,356365
P 02	-1,540618	4,711655	2,264402

Tabel 2. Konsentrasi klorofil-a Citra Landsat 8 April 2018 (lanjutan)

Titik	Klorofil-A (mg/m ³)		
	Arief	Nuriya	Pentury
P 03	-3,041083	1,31198	2,769481
P 04	-1,496994	0,216026	2,672711
P 05	-2,914353	0,284065	2,723
P 06	-2,544403	1,871996	2,768946
P 07	-2,597308	0,126763	2,773739
P 08	-1,011349	2,257887	2,107224
P 09	-2,363224	0,560532	2,529486
P 10	-2,633597	0,236602	2,622712

Tabel 3. Konsentrasi klorofil-a Citra Landsat 8 April 2018

Titik	Klorofil-A (mg/m ³)		
	Arief	Nuriya	Pentury
P 01	-3,48063	4,677685	2,936897
P 02	-2,432777	38,06306	2,553164
P 03	-3,43079	5,918704	2,917398
P 04	-2,854239	0,145282	2,701219
P 05	-3,003307	0,156969	2,755545
P 06	-1,918098	0,088688	2,382728
P 07	-3,340957	0,058123	2,882615
P 08	-2,867079	0,001285	2,705857
P 09	-0,792603	0,692557	2,045046
P 10	-2,279032	0,287781	2,5011

Tabel 4. Konsentrasi klorofil-a Citra Sentinel-2A menggunakan Prosesor C2RCC pada April dan September 2018

Titik	April (mg/m ³)	September (mg/m ³)
P 01	0,181289	0,000000
P 02	0,159521	0,712268
P 03	0,141364	0,003355
P 04	0,127154	0,000019
P 05	0,141842	0,285089
P 06	0,160795	0,117980
P 07	0,107836	0,437905
P 08	0,144383	0,144493
P 09	0,077817	0,271081
P 10	0,127545	0,353669

IV.3 Konsentrasi Total Suspended Solids Citra

Pada **Tabel 5,6** dan **Tabel 7** dapat dilihat hasil perhitungan kandungan *total suspended solids* perairan Banjir Kanal Barat Semarang menggunakan algoritma Budhiman, Laili Parwati dan C2RCC April dan September 2018.

Tabel 5. Kandungan TSS Citra Landsat 8 April 2018

Titik	TSS (mg/L)		
	Budhiman	Laili	Parwati
P 01	9,183849	20,80419	3,747786
P 02	8,992999	19,828779	3,669913
P 03	9,129825	23,22928	3,725749
P 04	9,195796	23,557497	3,752671
P 05	9,281716	23,98321	3,787734
P 06	9,094287	22,460173	3,711247
P 07	9,339441	24,451677	3,811291
P 08	9,710876	20,537661	3,962868
P 09	9,182013	22,781801	3,747047
P 10	9,304019	23,641455	3,796836

Tabel 6. Kandungan TSS Citra Landsat 8 September 2018

Titik	TSS (mg/L)		
	Budhiman	Laili	Parwati
P 01	8,714135	21,466612	3,556113
P 02	8,516849	18,328809	3,475603
P 03	8,474372	21,131285	3,458268
P 04	8,470136	20,161741	3,45654
P 05	8,700204	21,629316	3,550427
P 06	8,452367	20,429064	3,449289
P 07	8,35405	19,508013	3,409167
P 08	8,437166	19,190762	3,443085
P 09	8,523665	21,120268	3,478384
P 10	8,558684	19,351782	3,492675

Tabel 7. Kandungan *total suspended solids* Citra Sentinel-2A menggunakan Prosesor C2RCC pada April dan September 2018

Titik	April (mg/L)	September (mg/L)
P 01	5,939518	0,000000
P 02	3,885222	2,401560
P 03	0,807575	0,099632
P 04	0,980032	0,003512
P 05	3,031390	3,914869
P 06	1,360847	0,737034
P 07	28,804277	1,358271
P 08	37,181137	0,474058
P 09	1,961626	5,509283
P 10	1,086682	6,052978

IV.4 Algoritma Klorofil-a Terpilih

Berdasarkan analisis regresi masing-masing algoritma dan citra mulai dari algoritma Arief, Nuriya, Pentury dan C2RCC terhadap data in-situ diperoleh nilai R² yang dapat dilihat pada **Tabel 8**. Dari hasil analisis regresi yang telah dilakukan maka terpilihlah algoritma konsentrasi klorofil-a terbaik yaitu algoritma Nuriya dengan nilai R² sebesar 0,299.

Tabel 8. Hasil analisis regresi konsentrasi klorofil-a

Variabel	Arief	Nuriya	Pentury	C2RCC
R ²	0,0043	0,299	0,0014	0,1825

IV.5 Algoritma Total Suspended Solids Terbaik

Berdasarkan analisis regresi pada masing-masing algoritma, mulai dari algoritma Budhiman, Laili, Parwati dan C2RCC maka diperoleh nilai R² seperti terlihat pada **Tabel 9**. Dari hasil analisis regresi yang telah dilakukan terpilihlah algoritma kandungan *total suspended solids* terbaik yaitu C2RCC dengan nilai R² sebesar 0,3464.

Tabel 9. Hasil analisis regresi kandungan TSS

Variabel	Budhiman	Laili	Parwati	C2RCC
R ²	0,1714	0,2439	0,1713	0,3464

IV.6 Klasifikasi

IV.6.1 Klasifikasi Konsentrasi Klorofil-a

Hasil klasifikasi konsentrasi klorofil-a menggunakan algoritma Nuriya bulan April dan September 2018 dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Hasil klasifikasi konsentrasi klorofil-a April dan September 2018

Kelas	Konsentrasi (mg/m ³)	Persentase	
		April	September
Oligotrof	0-2	38,94	15,60
Mesotrof	2-5	19,14	16,31
Eutrof	5-15	19,47	29,08
Hipereutrof	>15-200	22,44	39,01

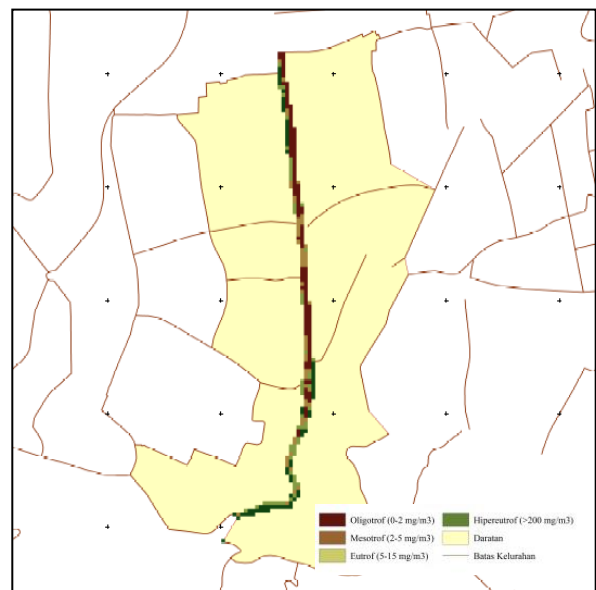
Hasil pengolahan konsentrasi klorofil-a dengan algoritma Nuriya dan klasifikasi menggunakan status trofik perairan yang dilakukan pada citra landsat 8 tanggal 3 April 2018 dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Sedangkan hasil pengolahan untuk menentukan kandungan klorofil-a menggunakan algoritma Nuriya dan mengklasifikasi menggunakan status trofik perairan yang dilakukan pada citra Landsat 8 tanggal 10 September 2018 dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Hasil klasifikasi konsentrasi klorofil-a bulan September 2018 kelas pertama ditempati status hipereutrof (>200 mg/m³), kelas kedua ditempati status eutrof (>15-200 mg/m³), kelas ketiga ditempati status mesotrof (2-15 mg/m³) dan terakhir ditempati oleh status trofik mesotrof (0-22 mg/m³).

IV.6.2 Klasifikasi Kandungan Total Suspended Solids

Hasil klasifikasi kandungan *total suspended solids* yang tersebar pada perairan Banjir Kanal Barat Semarang menggunakan *Case 2 Regional CoastColor processor* pada bulan April dan September 2018 dapat dilihat pada **Tabel 11**.



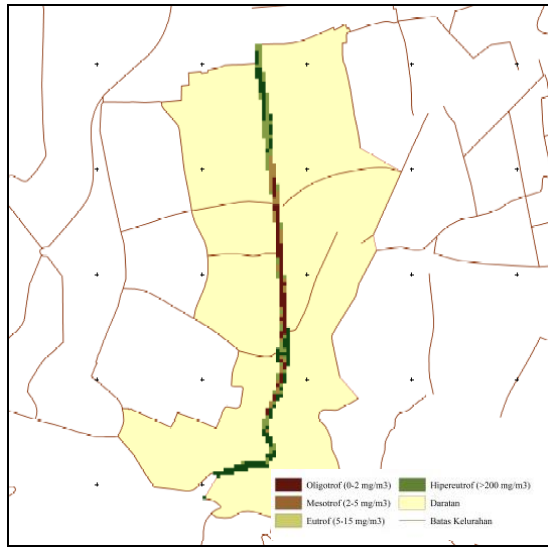
Gambar 2 Hasil klasifikasi konsentrasi klorofil-a April 2018

Tabel 11. Hasil klasifikasi kandungan TSS April dan September 2018

Kelas	TSS (mg/L)	Persentase (%)	
		April	September
Kondisi Baik	0-1	37,85	37,21
Tercemar Ringan	1-5	31,62	30,78
Tercemar Sedang	5-10	8,01	7,47
Tercemar Berat	>10	22,52	24,54

Hasil pengolahan untuk menentukan kandungan *total suspended solids* menggunakan C2RCC dan mengklasifikasi menggunakan

penentuan indeks pencemaran yang dilakukan pada citra Sentinel-2A tanggal 4 April 2018 dapat dilihat pada **Gambar 4**.

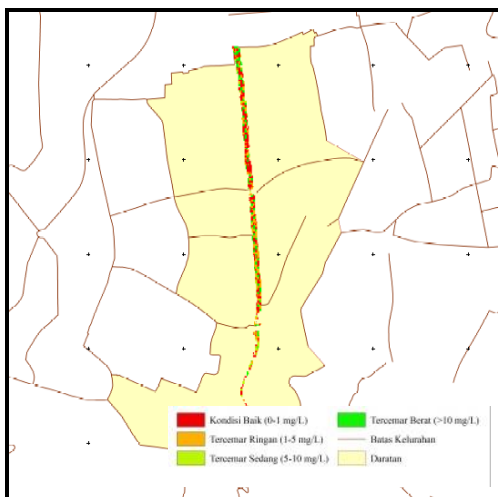


Gambar 3 Hasil klasifikasi konsentrasi klorofil-a September 2018

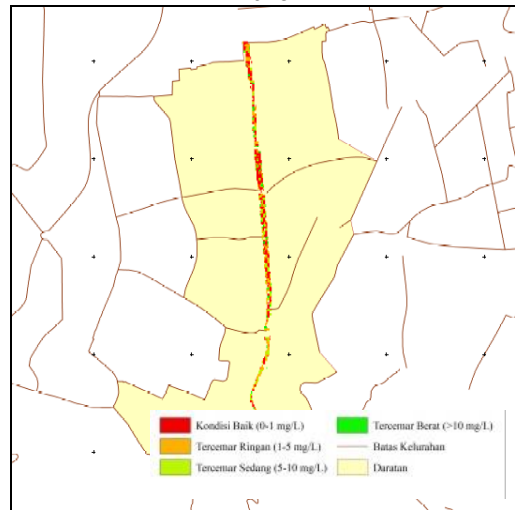
Kandungan *total suspended solids* terbagi menjadi empat kelas. Kandungan *total suspended solids* bulan April 2018 kelas pertama dengan kondisi baik (0-1 mg/L), kelas kedua tercemar ringan (1-5 mg/L), kelas ketiga tercemar berat (> 10 mg/L) dan terakhir tercemar sedang (5-10 mg/L).

Sedangkan hasil pengolahan kandungan *total suspended solids* citra Sentinel-2A 11 September 2018 dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Klasifikasi kandungan *total suspended solids* untuk bulan September 2018 menghasilkan urutan klasifikasi kelas pertama yang ditempati kelas dengan kondisi baik atau tidak tercemar (0-1 mg/L), kelas kedua ditempati oleh kelas tercemar ringan (1-5 mg/L) kelas ketiga ditempati kelas tercemar berat (>10 mg/L) dan terakhir ditempati kelas tercemar sedang (5-10 mg/L).



Gambar 4 Hasil klasifikasi kandungan TSS April 2018



Gambar 5 Hasil klasifikasi kandungan TSS September 2018

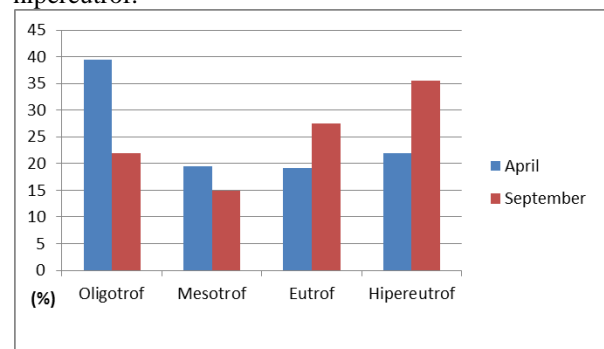
IV.7 Analisis Perbandingan

Hasil klasifikasi konsentrasi klorofil-a pada perairan Banjir Kanal Barat Semarang menggunakan algoritma Nuriya bulan April dan September 2018 dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Persentase hasil klasifikasi konsentrasi klorofil-a April dan September 2018

Kelas	Konsentrasi (mg/m ³)	Persentase (%)	
		April	September
Oligotrof	0-2	39,48	22,01
Mesotrof	2-5	19,42	14,89
Eutrof	5-15	19,09	27,51
Hipereutrof	>15	22,01	35,60

Dari grafik pada **Gambar 6** dapat dilihat bahwa dalam selang waktu enam bulan, terdapat pengurangan luas daerah pada status trofik oligotrof dan mesotrof dan peningkatan pada status eutrof dan hipereutrof di perairan Banjir Kanal Barat Semarang. Hal ini kemungkinann terjadi akibat banyaknya unsur-unsur kimiawi maupun biologis seperti unsur hara N dan P yang terbawa oleh aliran sungai sehingga menyebabkan kenaikan status eutrof dan hipereutrof.

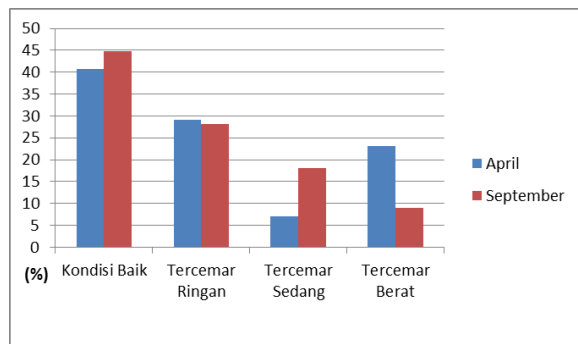


Gambar 6 Grafik perbandingan konsentrasi klorofil-a
Tabel 13. Persentase hasil klasifikasi kandungan TSS
 April dan September 2018

Kelas	TSS (mg/L)	Persentase (%)	
		April	September
Kondisi Baik	0-1	40,73	44,83
Tercemar Ringan	1-5	29,06	28,08
Tercemar Sedang	5-10	7,05	18,01
Tercemar Berat	>10	23,17	9,07

Hasil klasifikasi kandungan *total suspended solids* pada perairan Banjir Kanal Barat Semarang menggunakan C2RCC bulan April dan September 2018 dapat dilihat pada **Tabel 13**.

Dari grafik pada **Gambar 7** dapat dilihat bahwa dalam waktu selang enam bulan yaitu pada bulan April dan September 2018, wilayah perairan Banjir Kanal Barat Semarang pada kondisi baik, tercemar ringan dan tercemar sedang menurun dan terjadi peningkatan luas daerah perairan yang tercemar berat. Hal ini dapat terjadi karena perubahan fungsi lahan serta normalisasi perairan yang sedang dilakukan oleh pemerintah setempat dalam rangka pembangunan Perairan Banjir Kanal Barat sebagai objek wisata dunia seperti yang disampaikan oleh Walikota Semarang dalam (Wahyu, 2018)



Gambar 7 Grafik perbandingan kandungan TSS

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Perhitungan kandungan klorofil-a di perairan Banjir Kanal Barat pada rentang waktu enam bulan (April-September 2018) menghasilkan variasi kelas yang beragam. Status trofik perairan yang mendominasi dalam rentang enam bulan adalah hipereutrof (> 15 mg/m³) yang memang tersebar hampir di seluruh bagian perairan. Untuk status trofik perairan paling kecil pada bulan April dan September 2018 secara berurutan adalah mesotrof (2-5 mg/m³), eutrof (5-15 mg/m³) dan oligotrof

(0-2 mg/m³). Untuk kandungan *total suspended solids* pada rentang waktu enam bulan didominasi oleh kelas kondisi baik (0-1 mg/L). Kelas dengan nilai terkecil secara berurutan adalah tercemar sedang (5-10 mg/L), tercemar berat (> 10 mg/L) dan tercemar ringan (1-5 mg/L).

2. Algoritma terbaik untuk konsentrasi klorofil-a di perairan Banjir Kanal barat Semarang antara algoritma Arief (2006), Nuriya (2010), Pentury (1987) dan C2RCC adalah algoritma Nuriya dengan nilai signifikansi > 0,32 (>0,05). Sedangkan untuk algoritma kandungan *total suspended solids* Perairan Banjir Kanal Barat Semarang di antara algoritma Budhiman (2004), Laili (2015), Parwati (2014) dan C2RCC adalah algoritma C2RCC dengan nilai signifikansi paling besar yaitu 0,023.
3. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, diketahui bahwa distribusi kesuburan air di perairan Banjir Kanal Barat Semarang cukup beragam. Namun, berdasarkan rentang waktu enam bulan, status trofik hipereutrof yang mendominasi wilayah perairan Banjir Kanal Barat Semarang dengan persentase 30,7% dan status trofik terendah yaitu mesotrof dengan persentase 17,1%. Sedangkan untuk kandungan *total suspended solids* dalam rentang enam bulan didominasi oleh kelas dengan kondisi baik yaitu dengan persentase 42,78% dan kelas terendah yaitu tercemar sedang dengan persentase 12,5%.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dari awal hingga akhir, berikut ini saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya:

1. Lakukan pengambilan sampel pada cuaca yang cerah untuk meminimalisir adanya tutupan awan pada citra di area studi.
2. Waktu akuisisi citra yang dibandingkan dan digunakan sebaiknya merupakan citra dengan waktu akuisisi yang sama maupun mendekati dengan waktu pengambilan sampel.
3. Usahakan pengambilan sampel air dilakukan pada wilayah yang jauh dari daratan untuk mengurangi pengaruh nilai reflektansi daratan terhadap perairan yang akan diuji.

4. Sebaiknya pengambilan air dilakukan pada perairan yang dalam atau tidak terlalu dangkal, yaitu pada kedalaman ± 30 cm.
5. Wilayah studi penelitian sebaiknya dilakukan pada perairan yang luas atau tidak sempit sehingga sampel yang diambil bisa tersebar dan bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, M. (2006): Analisis Kesesuaian Perairan Tambak di Kabupaten Demak ditinjau dari Nilai Klorofil-a, Suhu Permukaan Perairan dan Muatan Padatan Tersuspensi menggunakan Data Citra Satelit Landsat ETM 7+, 10.
- Bilotta, G. S., dan Brazier, R. E. (2008): Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota, *Water Research*, **42**(12), 2849–2861. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>
- Bioresita, F., Pribadi, C. B., Firdaus, H. S., Hariyanto, T., dan Puissant, A. (2018): The Use of Sentinel-2 Imagery for Total Suspended Solids (TSS) Estimation in Porong River, Sidoarjo, **01**, 6.
- Brockman, C., Doerffer, R., Peters, M., Stelzer, K., Embacher, S., dan Ruescas, A. (2016): Evolution of The C2RCC Neural Network For Sentinel 2 and 3 For The Retrieval of Ocean Colour Products In Normal and Extreme Optically Complex Waters.
- Budhiman, S., Hobma, T., dan Vekerdy, Z. (2004): Remote Sensing for Mapping TSM Concentration in Mahakam Delta: an Analytical Approach, 15.
- Gumelar, B. A., Sukmono, A., dan Bashit, N. (2018): *Studi perbandingan Konsentrasi Klorofil-a pada Tambak Bandeng Tradisional dan Tambak Bandeng Intensif Menggunakan Citra Landsat 8*, Thesis, Universitas Diponegoro.
- Higgins, P. (27 Juni 2014): The Basics of Chlorophyll Measurement in Surface Water, , diperoleh 12 September 2018, melalui situs internet: <https://www.ysi.com/ysi-blog/water-blogged-blog/2014/06/the-basics-of-chlorophyll-measurement-in-surface-water>.
- Jiangui Liu, Tom Hirose, Mark Kapfer, John Bennett, Greg McCullough, Klaus Hochheim, dan Michael Stainton (2008): Operational Water Quality Monitoring Over Lake Winnipeg Using Satellite Remote Sensing Data.
- NOAA (2017): Eutrophication, .
- Nuriya, H., Hidayah, Z., dan Nugraha, W. A. (2010): Pengukuran Konsentrasi Klorofil-a dengan Pengolahan Citra Landsat ETM-7 dan Uji Laboratorium di Perairan Selat Madura Bagian Barat, **3**, 6.
- Pangesti, S. (2016): Regresi Linear Sederhana, Perpustakaan Digital Universitas Terbuka.
- Parwati, E. (2014): Analisis Algoritma Ekstraksi Informasi TSS menggunakan Data Landsat 8 di Perairan Berau, 11.
- Ritchie, J. C., Zimba, P. V., dan Everitt, J. H. (2003): Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **69**(6), 695–704. <https://doi.org/10.14358/PERS.69.6.695>
- Sari, N. C., dan Lailiyah, A. A. (2013): *Analisis Regresi Linear Sederhana* (Modul 6), Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, diperoleh melalui situs internet: <https://www.slideshare.net/nurcendanasari/modul-6-32056522>.
- Sidabutar, D. N. R. (2009): Pendugaan Konsentrasi Klorofil-a dan Transparansi Perairan Teluk Jakarta dengan Citra Satelit Landsat, 113.
- Wahyu, F. (25 Januari 2018): Banjir Kanal Barat Semarang Bakal jadi Objek Wisata Dunia, , diperoleh melalui situs internet: <https://www.liputan6.com/regional/read/3237004/banjir-kanal-barat-semarang-bakal-jadi-objek-wisata-dunia>.
- Wang, Z., Kawamura, K., Sakuno, Y., Fan, X., Gong, Z., dan Lim, J. (2017): Retrieval of Chlorophyll-a and Total Suspended Solids Using Iterative Stepwise Elimination Partial Least Squares (ISE-PLS) Regression Based on Field Hyperspectral Measurements in Irrigation Ponds in Higashihiroshima, Japan, *Remote Sensing*, **9**(3), 264. <https://doi.org/10.3390/rs9030264>