



TESIS - RM 185401

**PEMODELAN ALGORITMA UNTUK PENDUGAAN
KONSENTRASI *TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS)*
MENGUNAKAN DATA *IN-SITU* DAN CITRA
SATELIT SENTINEL-2
(STUDI KASUS : MUARA KALI PORONG,
SIDOARJO)**

**AYU KURNIA PERMATASARI
03311850010006**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. -Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.
Dr. Ir. Muhammad Taufik**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TESIS - RM185401

**PEMODELAN ALGORITMA UNTUK PENDUGAAN
KONSENTRASI *TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS)*
MENGUNAKAN DATA *IN-SITU* DAN CITRA SATELIT
SENTINEL-2
(STUDI KASUS : MUARA KALI PORONG, SIDOARJO)**

**AYU KURNIA PERMATASARI
NRP 03311850010006**

**Dosen Pembimbing:
Dr. -Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.
Dr. Ir. Muhammad Taufik**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TESIS - RM185401

**ALGORITHM MODELING FOR TOTAL SUSPENDED
SOLID (TSS) CONCENTRATION USING IN-SITU DATA
AND SENTINEL-2 SATELLITE IMAGE
(Case Study: Estuary of Kali Porong, Sidoarjo)**

**AYU KURNIA PERMATASARI
NRP 03311850010006**

**Supervisor:
Dr. -Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.
Dr. Ir. Muhammad Taufik**

**MASTER PROGRAM
EXPERTISE STUDY OF GEOMATICS
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh:
AYU KURNIA PERMATASARI
NRP: 03311850010006

Tanggal Ujian : 15 Januari 2020
Periode Wisuda : Maret 2020

Disetujui oleh:
Pembimbing:

1. Dr. -Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.,Sc.
NIP: 19590819 198502 1 001

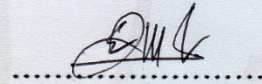


2. Dr. Ir. Muhammad Taufik
NIP: 19550919 198603 1 001

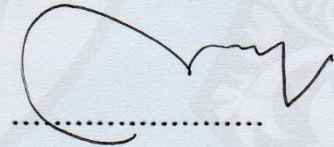


Penguji:

3. Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP: 19781212 200501 2 001

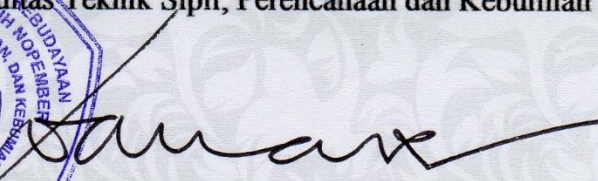


4. Lalu Muhamad Jaelani, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP: 19801221 200312 1 001



Kepala Departemen Teknik Geomatika

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan


Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

NIP: 19800507 200312 1 001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PEMODELAN ALGORITMA UNTUK PENDUGAAN
KONSENTRASI *TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS)*
MENGUNAKAN DATA *IN-SITU* DAN CITRA SATELIT
SENTINEL-2**

(Studi Kasus : Muara Kali Porong, Sidoarjo)

Nama Mahasiswa : Ayu Kurnia Permatasari
NRP : 03311850010006
Dosen Pembimbing : Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.
Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRAK

Pembuangan lumpur dalam jumlah besar dan secara terus-menerus ke Kali Porong mengakibatkan terjadinya sedimentasi di Kali Porong, dan di sepanjang pesisir pantai Surabaya-Pasuruan. Maka dari itu, pengamatan terhadap sebaran TSS (*Total Suspended Solid*) dibutuhkan untuk mengetahui kualitas air di suatu perairan. Dalam penelitian ini, penginderaan jauh digunakan untuk pendugaan konsentrasi TSS di Muara Kali Porong melalui pemodelan dan pengujian algoritma empiris dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah kombinasi antara metode pengamatan langsung (pengambilan data *in situ*) dan metode penginderaan jauh (mengggunakan data dari citra satelit Sentinel-2). Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menghitung konsentrasi atau harga TSS dari citra satelit menggunakan model TSS Parwati, Laili dan Jaelani; membuat pemodelan algoritma empiris; evaluasi perbandingan hasil TSS dari pemodelan algoritma empiris dengan algoritma yang sudah ada..

Hasil validasi algoritma konsentrasi TSS yang telah ada dengan menggunakan data *in-situ* dan data nilai reflektan dari citra satelit dapat diaplikasikan di perairan Muara Kali Porong. Algoritma TSS Parwati dengan nilai NMAE 41%, Algoritma TSS Laili dengan nilai NMAE 98%, Algoritma TSS Jaelani dengan nilai NMAE 87%. Hal ini menunjukkan bahwa dari tiga algoritma tersebut tidak dapat diaplikasikan di perairan Muara Kali Porong. Pemodelan

algoritma empiris yang sesuai untuk pendugaan konsentrasi TSS di perairan Muara Kali Porong diperoleh algoritma terbaik dengan model regresi linier rasio kanal 2 dan kanal 4 (λ_2 / λ_4) dengan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0,881$.

Kata kunci: Algoritma TSS, Muara Sungai Porong, Muatan Padatan Tersuspensi

**ALGORITHM MODELING FOR TOTAL SUSPENDED SOLID
(TSS) CONCENTRATION USING IN-SITU DATA AND
SENTINEL-2 SATELLITE IMAGE
(Case Study: Estuary of Kali Porong, Sidoarjo)**

Student Name : Ayu Kurnia Permatasari
NRP : 03311850010006
Suupervisor : Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.
Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRACT

Discharge of mud in large quantities and continuously into the Porong River causes sedimentation in the Porong River, and along the Surabaya-Pasuruan coast. Therefore, observations of the distribution of TSS (Total Suspended Solid) are needed to determine the water quality in a waters. In this study, remote sensing is used to estimate TSS concentrations in the Kali Porong Estuary through modeling and testing of empirical algorithms with a high degree of accuracy.

In this research, the method used is a combination of direct observation (in situ data collection) and remote sensing (using data from Sentinel-2 satellite imagery). The objectives to be achieved in this study are to calculate the concentration or price of TSS from satellite images using TSS models of Budhiman, Laili, Jaelani and Kurniadin; make empirical algorithm modeling; Evaluate the comparison of TSS results from empirical algorithm modeling with existing algorithms.

The results of the validation of the existing TSS concentration algorithm using in-situ data and reflectance value data from satellite images can be applied in the waters of Muara Kali Porong. Parwati TSS algorithm with 41% NMAE value, Laili TSS algorithm with 98% NMAE value, Jaelani TSS algorithm with 87% NMAE value. This shows that the three algorithms cannot be applied in the waters of Muara Kali Porong. Empirical algorithm modeling that is suitable for estimating TSS concentrations in Muara Kali Porong waters obtained the best algorithm with

a linear regression model of channel ratio 2 and channel 4 (λ_2 / λ_4) with a correlation coefficient $R^2 = 0.881$.

Keywords: TSS Algorithm, Porong River Estuary, Load of Suspended Solids

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-Nya yang terlimpahkan kepada penulis, sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “Pemodelan Algoritma untuk Pendugaan Konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) Menggunakan Data *In-Situ* dan Citra Satelit Sentinel-2 (Studi Kasus : Muara Kali Porong, Sidoarjo)”.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moril, materil dan do'a kepada penulis. Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Yth. Bapak Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.,Sc dan Bapak Dr. Ir. Muhammad Taufik, selaku pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu dalam mengarahkan dan membimbing penulis menyelesaikan penelitian ini. Disadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, penelitian ini tidak akan terselesaikan. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T, M.T, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS Surabaya.
2. Seluruh staf dosen pengajar, staf dan karyawan Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Rekan-rekan Teknik Geomatika atas bantuan pengambilan data lapangan sehingga penelitian ini dapat dikerjakan.
4. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan. Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, saran dan kritik sangat diharapkan untuk perbaikan dimasa yang akan datang. Semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2020

Ayu Kurnia Permatasari

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR GRAFIK.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Penginderaan Jauh.....	5
2.2 Citra Satelit Sentinel 2A.....	6
2.3 Muara Kali Porong.....	7
2.4 <i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	8
2.5 Algoritma untuk Pemetaan TSS.....	9
2.6 Uji Akurasi dan Korelasi.....	10
2.7 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup tentang Baku Mutu Air Laut.....	11
2.8 Penelitian Terdahulu.....	14
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Lokasi Penelitian.....	17
3.2 Data dan Peralatan.....	18

3.2.1 Data	18
3.2.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Metodologi Pekerjaan	19
3.3.1 Tahapan Penelitian	19
3.3.2 Tahapan Pengolahan Data	21
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Data	23
4.1.1 Data Lapangan.....	23
4.1.2 Data Citra Satelit Sentinel 2	24
4.2 Nilai Reflektan Citra Sentinel-2 Terkoreksi	25
4.3 Pemisahan Daratan dan Lautan (<i>Masking</i>)	26
4.4 Perhitungan Nilai TSS (<i>Total Suspended Solid</i>).....	28
4.5 Uji Korelasi dan Uji Validasi.....	30
4.6 Pemodelan Algoritma TSS	37
4.7 Pendugaan dan Analisa Sebaran Konsentrasi TSS	40
4.8 Evaluasi Perbandingan Hasil Algoritma Empiris dengan Algoritma yang Sudah Ada.....	43
4.8.1 Perbandingan hasil TSS Algoritma Empiris dengan Algoritma Parwati	44
4.8.2 Perbandingan hasil TSS Algoritma Empiris dengan Algoritma Laili... 45	
4.8.3 Perbandingan hasil TSS Algoritma Empiris dengan Algoritma Jaelani46	
4.9 Nilai TSS Hasil Pengolahan Citra Satelit Sentinel-2 Multitemporal.....	48
4.9.1 Perbandingan hasil TSS 12 November 2019 dengan 13 Oktober 2019 50	
4.9.2 Perbandingan hasil TSS 12 November 2019 dengan 23 Oktober 2019 52	
4.9.3 Perbandingan hasil TSS 12 November 2019 dengan 22 November 2019	53

4.9.4 Perbandingan hasil TSS 12 November 2019 dengan 2 Desember 2019	55
4.10 Analisa.....	57
4.10.1 Analisa Penerapan Algoritma	57
4.10.2 Analisa Algoritma Empiris	58
4.10.3 Analisa Perbandingan Hasil Algoritma Empiris dengan Algoritma yang Sudah Ada.....	58
4.10.4 Analisa Pengolahan Citra Satelit Multitemporal.....	58
4.10.5 Analisa Sedimentasi di Muara Kali Porong	59
4.10.6 Analisa Terhadap Faktor yang Mempengaruhi Sebaran TSS.....	60
BAB 5 KESIMPULAN.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	69
BIOGRAFI PENULIS	93

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	17
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data	21
Gambar 4. 1 Data Lapangan Konsentrasi TSS.....	24
Gambar 4. 2 Hasil NDWI Citra Satelit Sentinel-2.....	27
Gambar 4. 3 Hasil Masking Citra Satelit Sentinel-2.....	28
Gambar 4. 4 Peta Sebaran TSS Menggunakan Algoritma Parwati dengan Klasifikasi Berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004	32
Gambar 4. 5 Peta Sebaran TSS Menggunakan Algoritma Laili dengan Klasifikasi Berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004	34
Gambar 4. 6 Peta Sebaran TSS Menggunakan Algoritma Jaelani dengan Klasifikasi Berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004	36
Gambar 4. 7 Peta Sebaran TSS Menggunakan Algoritma Empiris dengan Klasifikasi Berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004	40
Gambar 4. 8 Diagram Alir Pengolahan Citra Multitemporal	48
Gambar 4. 9 Peta Sebaran TSS 13 Oktober 2019	51
Gambar 4. 10 Peta Sebaran TSS 23 Oktober 2019	53
Gambar 4. 11 Peta Sebaran TSS 22 November 2019	54
Gambar 4. 12 Peta Sebaran TSS 2 Desember 2019	56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Citra Sentinel 2A	6
Tabel 2. 2 Interpretasi Koefisien Korelasi	11
Tabel 4. 1 Data Lapangan Konsentrasi TSS	23
Tabel 4. 2 Nilai Reflektan Citra Satelit Sentinel-2A.....	25
Tabel 4. 3 Nilai Rrs Citra Satelit Sentinel-2	26
Tabel 4. 4 Nilai TSS Hasil Pengolahan Citra Sentinel-2 Tahun 2019.....	28
Tabel 4. 5 Klasifikasi Tingkat Konsentrasi TSS Berdasarkan Keputusan Menteri	31
Tabel 4. 6 Klasifikasi Tingkat Konsentrasi TSS Berdasarkan Keputusan Menteri	33
Tabel 4. 7 Klasifikasi Tingkat Konsentrasi TSS Berdasarkan Keputusan Menteri	35
Tabel 4. 8 Koefisien Korelasi (R^2) Kanal Tunggal	37
Tabel 4. 9 Koefisien Korelasi (R^2) Rasio Dua Kanal.....	38
Tabel 4. 10 Koefisien Korelasi (R^2) Kombinasi Rasio Kanal.....	38
Tabel 4. 11 Klasifikasi Tingkat Konsentrasi TSS Berdasarkan Keputusan Menteri	39
Tabel 4. 12 Perbandingan Nilai TSS in-situ dengan TSS Pendugaan	40
Tabel 4. 13 Nilai TSS pada tanggal 13 Oktober 2019, 23 Oktober 2019, 12 November 2019, 22 November 2019 dan 2 Desember 2019, di Perairan Muara Sungai Porong	49

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Nilai TSS Antara Data In Situ dengan Data Citra Menggunakan Beberapa Algoritma	30
Grafik 4. 2 Korelasi Nilai TSS Lapangan dan TSS Algoritma Parwati.....	31
Grafik 4. 3 Korelasi Nilai TSS Lapangan dan TSS Algoritma Laili	33
Grafik 4. 4 Korelasi Nilai TSS Lapangan dan TSS Algoritma Jaelani.....	35
Grafik 4. 5 Regresi Linier Algoritma Empiris	39
Grafik 4. 6 Nilai TSS In Situ dan Pendugaan Perairan Muara Kali Porong 12 November 2019.....	42
Grafik 4. 7 Korelasi Nilai TSS Lapangan dan TSS Pendugaan (Algoritma Baru)	43
Grafik 4. 8 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris dengan Algoritma Parwati.....	45
Grafik 4. 9 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris dengan Algoritma Laili	46
Grafik 4. 10 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris dengan Algoritma Jaelani	47
Grafik 4. 11 Nilai TSS Multitemporal Perairan Muara Sungai Porong.....	50
Grafik 4. 12 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris pada 12 November 2019 dan 13 Oktober 2019	51
Grafik 4. 13 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris pada 12 November 2019 dan 23 Oktober 2019	52
Grafik 4. 14 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris pada 12 November 2019 dan 23 Oktober 2019	54
Grafik 4. 14 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris pada 12 November 2019 dan 23 Oktober 2019.....	55

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembuangan lumpur dalam jumlah besar dan secara terus-menerus ke Kali Porong mengakibatkan terjadinya sedimentasi di Kali Porong, terutama di muara Kali Porong, dan di sepanjang pesisir pantai Surabaya-Pasuruan. Hal ini dikarenakan transpor material sedimen di sepanjang aliran air, pengaruh kondisi geografis, pasang surut, gelombang air laut, dan lain-lain. Pemerintah menyetujui pembuangan lumpur ke Kali Porong dengan asumsi bahwa lumpur ini akan dialirkan ke laut untuk memberikan tambahan waktu dalam upaya penghentian semburan lumpur sekaligus untuk mempersiapkan alternatif penanganan yang lain. Sungai Porong merupakan kawasan pembuangan lumpur Lapindo yang telah terjadi sejak tahun 2006 hingga sekarang. Aliran sungai yang deras menyebabkan terbawanya lumpur Lapindo menuju muara sungai Porong dan pengaliran lumpur telah menimbulkan sedimentasi di muara Porong dan pesisir Timur Sidoarjo (Sari dkk, 2013).

Selain sedimentasi, kondisi di Muara Kali Porong mengalami pencemaran air dari faktor-faktor lain, seperti yang berasal dari limbah industri, limbah pertambangan, limbah pertanian dan perumahan, kebisingan, atau penyebaran organisme asing ke dalam laut yang berpotensi memberi efek buruk terhadap kestabilan ekosistem perairan tersebut (Saeni, 2008).

Permasalahan yang dihadapi dalam upaya pengelolaan sumberdaya laut adalah masih terbatasnya informasi mengenai kondisi air laut dan kurang meratanya informasi yang diperoleh sehingga masih banyak daerah yang belum dapat memanfaatkan sumberdaya laut dengan maksimal. Kondisi air laut tersebut dapat ditunjukkan dengan informasi parameter air laut (fisik, kimia dan biologi) diantaranya konsentrasi Muatan Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid*), konsentrasi klorofil-a, salinitas, kedalaman, kecerahan, kandungan oksigen, arus dan gelombang.

Memprediksi konsentrasi TSS penting untuk pengelolaan sumber daya alam badan air termasuk pengendalian kualitas air, perlindungan garis pantai, rekreasi,

identifikasi kehidupan ekonomi struktur pelindung, dan dalam banyak kasus dukungan untuk industri makanan laut. Peningkatan konsentrasi TSS dapat membatasi penetrasi cahaya, karena itu mempengaruhi pentingnya produksi vegetasi akuatik (Altunkaynak & Wang, 2011).

Dalam penelitian ini menggunakan pemanfaatan data penginderaan jauh terutama menggunakan data citra satelit Sentinel-2. Pada penelitian ini menggunakan citra satelit Sentinel-2 karena dapat memantau wilayah perairan yang cukup luas dan citra tersebut masih jarang digunakan oleh beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan algoritma dalam pemetaan konsentrasi TSS berdasarkan data TSS *in-situ* di Muara Kali Porong dan diharapkan pula algoritma yang dihasilkan dapat diterapkan.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini, yaitu :

- a. Bagaimana hasil konsentrasi TSS dari citra satelit menggunakan model TSS Parwati, Laili dan Jaelani?
- b. Bagaimana hasil dari membuat pemodelan algoritma empiris?
- c. Bagaimana hasil perbandingan TSS di Muara Kali Porong dalam penerapan model algoritma yang telah dibuat (empiris) dan model algoritma yang sudah ada?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung konsentrasi atau harga TSS dari citra satelit menggunakan model TSS Parwati, Laili dan Jaelani.
- b. Membuat pemodelan algoritma empiris.
- c. Evaluasi perbandingan hasil TSS di Muara Kali Porong dari model algoritma yang telah dibuat (empiris) dengan algoritma yang sudah ada.

1.4 Manfaat Penelitian

- a. Sebagai bahan informasi dan rekomendasi untuk Dinas Kelautan dan Perikanan Pemerintah Kabupaten Sidoarjo mengenai kondisi

parameter kualitas air laut khususnya konsentrasi TSS di Muara Kali Porong;

- b. Sebagai bahan referensi untuk pemetaan pendugaan konsentrasi TSS dengan menggunakan algoritma empiris di perairan lainnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Penginderaan Jauh

Menurut James B. Campbell (1987) Penginderaan jauh adalah ilmu yang mempelajari pengambilan informasi tentang permukaan bumi, darat dan laut, dari citra yang diperoleh dari jarak jauh. Metode ini biasanya tergantung pada pengukuran energi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh objek yang diamati. Sedangkan menurut Lillesand & Kiefer (1990) Penginderaan jauh (remote sensing) adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji.

Penginderaan jauh memiliki dua proses dasar yakni akuisi data dan analisis data. Elemen yang terdapat pada proses akuisisi data yakni a) sumber energi, b) perambatan energi melalui atmosfer, c) interaksi energi dengan fitur permukaan bumi, d) transmisi ulang energi melewati atmosfer, e) sensor airborne, f) hasil dari pembentukan data sensor pada bentuk gambar digital, g) kita menggunakan sensor untuk merekam variasi data pada permukaan bumi yang mencerminkan dan memancarkan energi elektromagnetik.

Ada beberapa jenis resolusi yang umum diketahui dalam penginderaan jauh, (Danoedoro, 1996):

a. Resolusi spasial

Ukuran objek terkecil yang mampu direkam, dibedakan dan disajikan pada citra. Resolusi spasial menunjukkan level dari detail yang ditangkap oleh sensor. Semakin detail sebuah studi semakin tinggi resolusi spasial yang diperlukan.

b. Resolusi spektral

Daya pisah objek berdasarkan besarnya spektrum elektromagnetik yang digunakan untuk merekam data. Resolusi spektral menunjukkan lebar kisaran dari masing-masing band spektral yang diukur oleh sensor. Semakin banyak jumlah saluran atau kanal-kanalnya semakin tinggi kemampuannya dalam mengenali objek.

c. Resolusi temporal

Menunjukkan waktu antar pengukuran, atau dalam kata lain kemampuan suatu sistem untuk merekam ulang daerah yang sama. Satuan resolusi temporal adalah jam atau hari.

d. Resolusi radiometrik

Kemampuan sensor dalam mencatat respon spektral objek atau kemampuan sensor untuk mendeteksi perbedaan pantulan terkecil.

2.2 Citra Satelit Sentinel 2A

Sentinel-2A merupakan satelit observasi bumi milik European Space Agency (ESA) yang diluncurkan pada tanggal 23 Juni 2015 di Guiana Space Centre, Kourou, French Guyana, menggunakan kendaraan peluncur Vega. Satelit ini merupakan salah satu dari dua satelit pada Program Copernicus yang telah diluncurkan dari total perencanaan sebanyak 6 satelit. Sebelumnya telah diluncurkan Satelit Sentinel-1A yang merupakan satelit radar pada tanggal 3 April 2014, dan segera menyusul kemudian yaitu Satelit Sentinel-2B pada tahun 2017 mendatang.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Citra Sentinel 2A

Kanal	Panjang Gelombang (Mikrometer)	Resolusi Spasial (Meter)
Kanal 1 - Pesisir dan Aerosol	0,443	60
Kanal 2 - Biru	0,49	10
Kanal 3 - Hijau	0,56	10
Kanal 4 - Merah	0,665	10
Kanal 5 - Red Edge Vegetasi	0,705	20
Kanal 6 - Red Edge Vegetasi	0,74	20
Kanal 8 - NIR	0,842	10
Kanal 8 A - Red Edge Vegetasi	0,865	20
Kanal 9 - Uap Air	0,945	60
Kanal 10 - SWIR -Cirrus	1,375	60
Kanal 11 - SWIR	1,61	20
Kanal 12 - SWIR	2,19	20

Satelit Sentinel-2A dilengkapi instrumen multispektral dengan 13 saluran spektral dari saluran cahaya tampak, inframerah dekat, serta gelombang pendek inframerah. Satelit yang direncanakan dapat bertahan selama 7 tahun ini,

mempunyai resolusi spasial 10 meter (untuk band-band cahaya tampak dan inframerah dekat), 20 meter dan 60 meter (untuk band-band gelombang inframerah dekat dan gelombang pendek inframerah).

Satelit Sentinel-2A memiliki 2 jenis tipe, yaitu level 1C dan 2A. Pada tipe level 1C merupakan data *Top Of Atmosphere* (TOA) dan pada tipe level 2A merupakan data *Bottom Of Atmosphere* (BOA). Pada penelitian ini penulis menggunakan citra satelit Sentinel-2A yang merupakan data BOA yang sudah terkoreksi atmosfer. Data mentah citra Sentinel Level-2A masih dalam format DN (*Digital Number*) sehingga perlu diubah terlebih dahulu menjadi format *reflectance*. Pengubahan format dilakukan dengan memberikan formula memasukkan formula band yang akan digunakan dibagi dengan (10000*PI).

2.3 Muara Kali Porong

Bencana semburan lumpur Lapindo adalah peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran Lapindo Brantas Inc di Dusun Balongnonggo Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Peristiwa yang terjadi sejak 27 Mei 2006 ini menjadi suatu tragedi ketika semburan lumpur panas mulai menggenangi areal persawahan, pemukiman penduduk, dan kawasan industri dan merusak berbagai sarana dan prasarana komunikasi, transportasi, pendidikan, listrik, kesehatan, dan lain-lain. Volume lumpur yang disebarkan mencapai 50.000 – 126.000 m³ / hari.

Sungai Porong merupakan kawasan pembuangan lumpur Lapindo yang telah terjadi sejak tahun 2006 hingga sekarang. Aliran sungai yang deras menyebabkan terbawanya lumpur Lapindo menuju muara sungai Porong dan pengaliran lumpur telah menimbulkan sedimentasi di muara Porong dan pesisir Timur Sidoarjo (Sari dkk, 2013).

Sungai Porong dimanfaatkan untuk mengalirkan lumpur Lapindo menuju Delta Sungai Porong di Selat Madura. Akibat pembuangan lumpur lapindo melalui Sungai Porong, terjadi transpor sedimen yang besar menuju Estuari Porong. Pengaliran lumpur lapindo ke Selat Madura telah menimbulkan sedimentasi di Estuari porong dan Pesisir Timur Sidoarjo (Pahlevi dkk, 2010) yang berdampak pada habitat dari makrozoobentos karena lumpur lapindo mengandung bahan-

bahan yang berbahaya antara lain logam berat. Semburan Lumpur Sidoarjo kini telah mengakibatkan terjadinya penurunan kuantitas air tanah, yang ditunjukkan oleh adanya penurunan muka air tanah tertekan yang cukup signifikan di daerah Sidoarjo dan sekitarnya apabila dibandingkan dengan sebelum terjadinya semburan lumpur. Muka air tanah tertekan di daerah Sidoarjo dan sekitarnya yang diukur melalui sumurbor produksi dan sumur pantau menunjukkan adanya penurunan antara 0,15 – 11,18 m setelah terjadinya semburan Lumpur.

2.4 Total Suspended Solid (TSS)

TSS menggambarkan besarnya materi atau partikel yang tersuspensi dalam air. Materi yang tersuspensi mempunyai dampak buruk terhadap kualitas air karena mengurangi penetrasi cahaya matahari ke dalam badan air, kekeruhan air meningkat yang menyebabkan gangguan pertumbuhan bagi organisme produser. Kualitas air yang jauh dari standar kondisi normal merupakan salah satu masalah besar yang perlu penanganan cepat agar dampak buruknya dapat diminimalisir (Parwati & Purwanto, 2014).

TSS adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan pada air, merupakan padatan tidak larut dan tidak dapat mengendap secara langsung. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel- partikel yang ukurannya $> 1 \mu\text{m}$, misalnya: lumpur, pasir halus, bahan-bahan organik tertentu, jasad-jasad renik dan lainnya (Nurjati & Handayani, 2011).

Teknologi penginderaan jauh telah banyak diaplikasikan untuk mempelajari kualitas perairan, salah satunya TSS. Kualitas perairan memiliki penetrasi cahaya yang berbeda pada daerah tertentu, dapat diketahui dengan teknik multispektral (Barret & Curtis, 1982). Keberadaan materi-materi organik dan anorganik yang tersuspensi mempengaruhi nilai pantulan (reflektan) dari suatu badan air. Informasi tentang nilai pantulan pada cahaya tampak dari badan air dapat digunakan untuk memberikan gambaran kondisi dan kualitas perairan. Kekeruhan yang disebabkan oleh TSS adalah salah satu faktor yang mempengaruhi sifat spektral suatu badan air. Air yang keruh mempunyai nilai reflektan yang lebih tinggi daripada air jernih (Hasyim, 1997).

Banyak model TSS berdasarkan metode empiris telah digunakan dalam operasional satelit sistem penginderaan jauh. Model ini dikembangkan atas dasar

hubungan statistik antara konsentrasi TSS dan single-channel atau multi-channel reflektan (Aguirre Gomez, 2000). Namun bentuk yang tepat dari hubungan antara TSS dan reflektan juga tergantung pada mineralogi, warna, dan property hamburan partikel (menggabungkan distribusi ukuran partikel dan indeks bias) (Binding dkk, 2005).

2.5 Algoritma untuk Pemetaan TSS

Penelitian Parwati (2014) di perairan Berau. Algoritma menggunakan nilai dari kanal merah yang terkoreksi atmosferik sebagai input. Berikut algoritma yang digunakan:

$$\text{TSS (mg/l)} = 0,6211 * (7,9038 * \exp^{(23,942 * \rho(\lambda_4))^{0,9645}}) \quad (2.8)$$

Keterangan:

TSS = Muatan Padatan Tersuspensi

$\rho(\lambda_4)$ = Reflektan Kanal Merah

Penelitian Laili (2015) di perairan Poteran Madura. Algoritma menggunakan nilai reflektan permukaan ($Rrs(\lambda)$) kanal biru dan merah sebagai input. Berikut algoritma yang digunakan:

$$\text{TSS (mg/l)} = 31,42 * \left(\frac{\log Rrs(\lambda_2)}{\log Rrs(\lambda_4)} \right) + (-12,719) \quad (2.9)$$

dimana:

TSS = Muatan Padatan Tersuspensi

$Rrs(\lambda_2)$ = Reflektan Permukaan Kanal Biru (0,49)

$Rrs(\lambda_4)$ = Reflektan Permukaan Kanal Merah (0,665)

Penelitian Jaelani (2016) di perairan Poteran dan Gili Iyang Kabupaten Sumenep. Algoritma menggunakan nilai reflektan permukaan ($Rrs(\lambda)$) kanal biru dan hijau sebagai input. Berikut algoritma yang digunakan:

$$\text{TSS (mg/l)} = 1,5212 * \left(\frac{\log Rrs(\lambda_2)}{\log Rrs(\lambda_3)} \right) + (-0,3698) \quad (2.10)$$

dimana:

TSS = Muatan Padatan Tersuspensi

$Rrs(\lambda_2)$ = reflektan permukaan kanal biru (0,49)

$Rrs(\lambda_3)$ = reflektan permukaan kanal hijau (0,56)

2.6 Uji Akurasi dan Korelasi

Untuk menguji akurasi algoritma empiris yang dikembangkan antara nilai reflektan dan nilai kualitas air laut (dalam hal ini nilai in-situ TSS), digunakan indeks *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) dan koefisien korelasi (R^2) sebagai berikut (Jaelani, 2016):

- $$NMAE (\%) = \frac{1}{N} * \sum \frac{x_{estimated} - x_{measured}}{x_{measured}} * 100 \quad (2.11)$$

Keterangan :

NMAE = *Normalized Mean Absolute Error*

N = Jumlah data

X estimated = Nilai hasil pengolahan

X measured = Nilai hasil pengukuran lapangan yang dianggap benar

- $$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (2.12)$$

Keterangan:

Y = Variabel Response atau Variabel Akibat (Dependent)

X = Variabel Predictor atau Variabel Faktor Penyebab (Independent)

dimana x dan y adalah nilai pendugaan dan nilai pengukuran, sedangkan N adalah jumlah data. NMAE untuk mengetahui kesalahan mutlak nilai pendugaan dari algoritma model dengan nilai hasil pengukuran di lapangan. Sedangkan koefisien korelasi (R^2) digunakan untuk mengetahui korelasi yang terbaik antara nilai pendugaan dari algoritma model dengan nilai hasil pengukuran di lapangan. Pemodelan algoritma dianggap baik jika memenuhi kriteria nilai $R^2 > 0,5$ dan syarat minimum nilai NMAE agar dapat digunakan untuk mengekstrak data parameter air laut dari data penginderaan jauh adalah nilai NMAE dibawah 30% (Jaelani et al., 2015).

Pemberian kriteria untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan atau korelasi antara dua variabel, dapat mengacu pada kriteria sebagai berikut: $R^2 = 0$: tidak ada korelasi antara dua variabel; $0 < R^2 \leq 0,25$: korelasi sangat lemah; $0,25 < R^2 \leq 0,5$: korelasi cukup; $0,5 < R^2 \leq 0,75$: korelasi kuat; $0,75 < R^2 \leq 0,99$: korelasi sangat kuat; dan $R^2 = 1$: korelasi sempurna (Sarwono, 2006).

Tabel 2. 2 Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00	Tidak ada korelasi
0,00 – 0,25	Korelasi Sangat Lemah
0,25 – 0,50	Korelasi Cukup
0,50 – 0,75	Korelasi Kuat
0,75 – 0,99	Korelasi Sangat Kuat
1	Korelasi Sempurna

2.7 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup tentang Baku Mutu Air Laut

Baku mutu air laut menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut, adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya di dalam air laut. Dalam keputusan tersebut mengatur tentang parameter-parameter apa saja yang harus dan tidak boleh dimiliki oleh air laut serta kadar maksimum yang diperbolehkan. Kawasan perairan laut di luar Perairan Pelabuhan dan Wisata Bahari mengacu pada Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut.

Tabel 2. 1 Parameter Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu
FISIKA			
1.	Kecerahan	m	Coral: > 5 Mangrove: - Lamun: >3
2.	Kebauan		Normal
3.	Kekeruhan	NTU	<5
4.	Padatan tersuspensi total	Mg/l	Coral: 20 Mangrove: 80 Lamun: 20
5.	Sampah		Nihil
6.	Suhu	°C	Alami Coral: 28-30 Mangrove: 28-32 Lamun: 28-30
7.	Lapisan minyak		Nihil
KIMIA			

1.	pH		7-8,5
2.	Salinitas	%0	Alami Coral: 33-34 Mangrove: s/d 34 Lamun: 33-34
4.	BOD5	mg/l	20
5.	Ammonia total (NH ₃ -N)	mg/l	0,3
No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu
6.	Fosfat (PO ₄ -P)	mg/l	0,015
7.	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	0,008
8.	Sianida (CN)	mg/l	0,5
9.	Sulfida (H ₂ S)	mg/l	0,01
10.	PAH (Poliaromatik hidrokarbon)	mg/l	0,003
11.	Senyawa Fenol total	mg/l	0,002
12.	PCB total (poliklor bifenil)	µg/l	0,01
13.	Surfaktan (deterjen)	mg/l MBAS	1
14.	Minyak & lemak	mg/l	1
15.	Pestisida	µg/l	0,01
16.	TBT (tributil tin)	µg/l	0,01
Logam terlarut			
17.	Raksa (Hg)	mg/l	0,001
18.	Kromium heksavalen (Cr(VI))	mg/l	0,005
19.	Arsen (As)	mg/l	0,012
20.	Kadmium (Cd)	mg/l	0,001
21.	Tembaga (Cu)	mg/l	0,008
22.	Timbal (Pb)	mg/l	0,008
23.	Seng (Zn)	mg/l	0,05
24.	Nikel (Ni)	mg/l	0,05
BIOLOGI			
1.	Coliform (total)	MPN/ 100 ml	1000
2.	Patogen	Sel/100 ml	Nihil

3.	Plankton	Sel/100 ml	Tidak <i>bloom</i>
RADIO NUKLIDA			
1.	Komposisi yang tidak diketahui	Bq/l	4

(Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut)

Catatan:

1. Nihil adalah tidak terdeteksi dengan batas deteksi alat yang digunakan (sesuai dengan metode yang digunakan)
2. Metode analisa mengacu pada metode analisa untuk air laut yang telah ada, baik internasional maupun nasional.
3. Alami adalah kondisi normal suatu lingkungan, bervariasi setiap saat (siang, malam dan musim).
4. Pengamatan oleh manusia (*visual*).
5. Pengamatan oleh manusia (*visual*). Lapisan minyak yang diacu adalah lapisan tipis (*thin layer*) dengan ketebalan 0,01mm
6. Tidak *bloom* adalah tidak terjadi pertumbuhan yang berlebihan yang dapat menyebabkan eutrofikasi. Pertumbuhan plankton yang berlebihan dipengaruhi oleh nutrien, cahaya, suhu, kecepatan arus, dan kestabilan plankton itu sendiri.
7. TBT adalah zat *antifouling* yang biasanya terdapat pada cat kapal
 - a. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% kedalaman *euphotic*
 - b. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% konsentrasi rata-rata musiman
 - c. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <2oC dari suhu alami
 - d. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <0,2 satuan pH
 - e. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <5% salinitas rata-rata musiman
 - f. Berbagai jenis pestisida seperti: DDT, Endrin, Endosulfan dan Heptachlor
 - g. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% konsentrasi rata-

rata musiman

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Nurahida Laili, et al (2015) bertujuan untuk mengembangkan algoritma yang berfungsi untuk mendeteksi konsentrasi TSS dan Chl-a dengan menggunakan Citra Landsat-8 di Perairan Pulau Poteran, Madura. Penelitian tersebut mengumpulkan data lapangan reflektansi penginderaan jauh, konsentrasi TSS, dan Chl-a yang terdapat pada 9 stasiun yang mengelilingi Pulau Poteran, serta data Citra Landsat-8 dengan waktu akuisisi yang sama yaitu 22 April 2015. Model regresi untuk memperkirakan TSS menghasilkan akurasi yang tinggi dengan koefisien korelasi (R^2), NMAE dan RMSE sebesar 0,709; 9,67% dan 1,705 g / m^3 masing-masing. Sedangkan algoritma Chl-a retrieval menghasilkan R^2 sebesar 0,579; NMAE sebesar 10,40% dan RMSE sebesar 51,946 mg / m^3 . Persamaan algoritma pendugaan TSS yang digunakan seperti pada persamaan (2.9).

Penelitian Jaelani (2016) yang meneliti tentang akurasi parameter fisik kualitas air laut (TSS dan Chl-a) yang diturunkan dari data penginderaan jauh yang tergantung pada algoritma koreksi atmosfer dan algoritma pendugaan parameter fisik yang akurat. Dalam penelitian ini, akurasi dari produk USGS yang terkoreksi secara atmosfer serta algoritma yang dikembangkan untuk menghitung konsentrasi TSS dan Chl-a menggunakan Landsat 8-OLI data telah dikaji. Korelasi yang rendah antara data in situ dan $Rrs(\lambda)$ Landsat ($R^2 = 0,106$) menunjukkan algoritma koreksi atmosfer yang digunakan oleh USGS memiliki keterbatasan. Algoritma pendugaan konsentrasi TSS menghasilkan akurasi yang dapat diterima di Perairan Poteran (RE sebesar 4,60% dan R^2 sebesar 0,628) dan di perairan Gili Iyang (RE sebesar 14,82% dan R^2 sebesar 0,345). Korelasi yang rendah antara konsentrasi TSS pendugaan dan ukuran disebabkan tidak hanya oleh akurasi algoritma pendugaan TSS dan Chl-a, tetapi juga oleh akurasi dari reflektan terkoreksi atmosfer dari produk Landsat. Persamaan algoritma pendugaan TSS yang digunakan seperti pada persamaan (2.10).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Syaiful Budianto (2016) berjudul Analisis Perubahan Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) Dampak Bencana Lumpur Menggunakan Citra Landsat Multitemporal (Studi Kasus : Sungai Porong, Sidoarjo) citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 8

L1T hasil perekaman secara multi temporal pada tahun 2014 - 2016. 3 algoritma dipakai untuk menentukan nilai TSS yaitu, algoritma Guzman dan Santaella (2009), algoritma Syarif Budiman (2004), dan algoritma Laili (2015). Waktu penelitian dilakukan pada musim penghujan yang dilakukan pada bulan April dengan daerah penelitian di area Muara Sungai Porong. Dari hasil pengolahan data dan analisa didapatkan nilai TSS dari tahun 2014 – 2016 bervariasi antara 1,4 mg/l – 118 mg/l. Uji validasi nilai TSS yang paling baik menggunakan algoritma Laili (2015) dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,5449 dan regresi linier (R) sebesar 73,81 %. Nilai dan sebaran TSS dipengaruhi oleh pasang surut, arus, angin, dan gelombang (Sugiyono, 2008). Perbedaan dari penelitian ini adalah algoritma Laili tidak dipakai di sini digantikan dengan algoritma Parwati. Citra yang digunakan selain menggunakan citra Landsat 8 juga menggunakan citra Landsat 7. Lokasi studi yang digunakan juga di daerah Teluk yang merupakan wilayah perairan sempit yang dekat dengan selat. Dan juga terdapat analisa kaitan antara sebaran TSS dan batimetri.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Luki Indeswari (2017) berjudul Pemetaan Persebaran Total Suspended Solid (TSS) Dengan Memanfaatkan Citra Satelit Landsat Multitemporal Dan Data In Situ (Studi Kasus : Perairan Muara Sungai Porong, Sidoarjo) citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 7 dan 8 hasil perekaman secara multi temporal pada tahun 2000, 2013-2017. Algoritma dipakai untuk menentukan nilai TSS ada 4 (empat) yaitu, algoritma Guzman dan Santaella (2009), algoritma Syarif Budiman (2004), Parwati (2006) dan algoritma Laili (2015). Waktu penelitian dilakukan pada bulan Agustus dengan daerah penelitian di area Muara Sungai Porong. Berdasarkan hasil pengolahan data in situ dan data Citra Satelit Landsat 8 Pada Tahun 2017 dengan menggunakan 4 Algoritma yang telah ditentukan, didapatkan hasil uji korelasi masing-masing algoritma dengan nilai korelasi tertinggi adalah milik Algoritma Parwati (2006) sebesar 88%, serta nilai regresi linier (R^2) sebesar 0,7751. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai TSS data in situ dan TSS Algoritma Parwati memiliki hubungan yang paling kuat. Berdasarkan hasil pengolahan data citra satelit Landsat 7 dan 8 pada tahun 2000, 2013 hingga 2017, serta data in situ

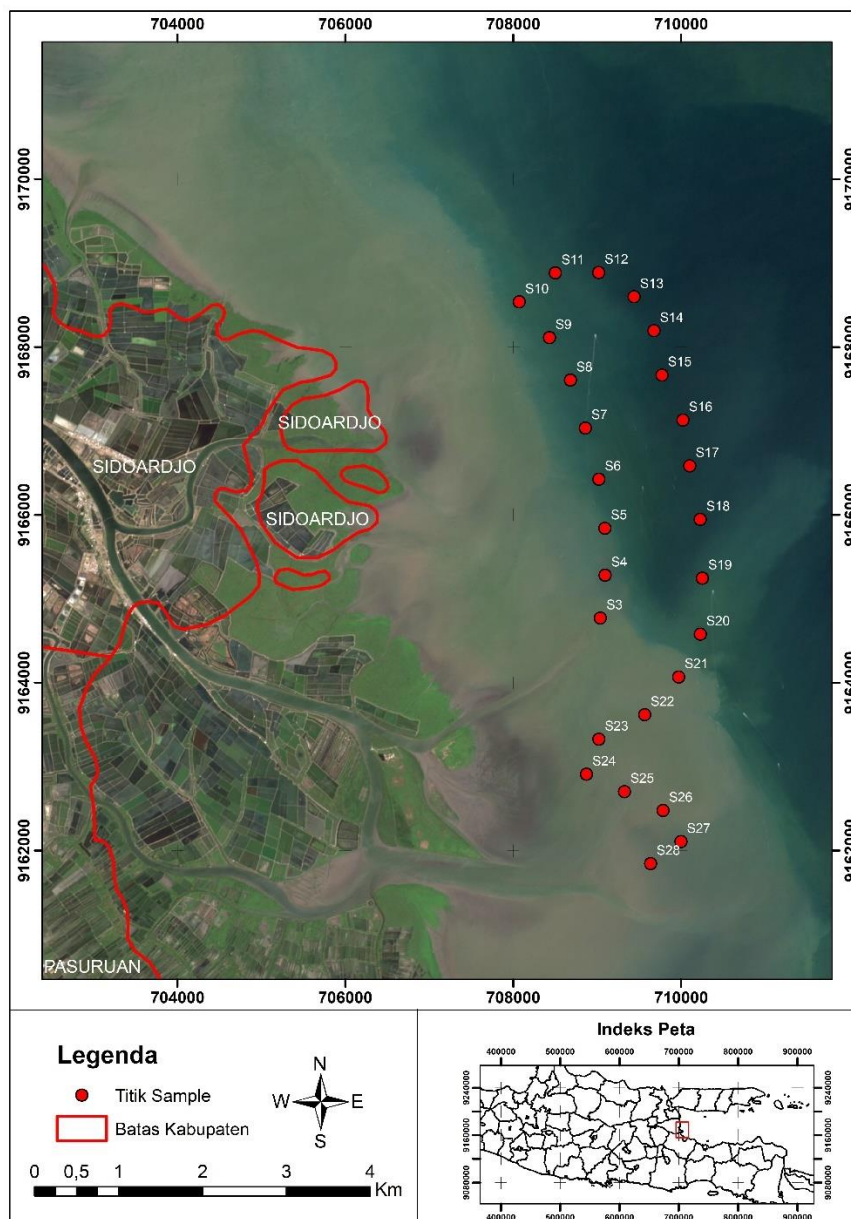
didapatkan hasil konsentrasi TSS antara 6,08 mg/L – 41,74 mg/L yang berarti masih memenuhi standar baku mutu air laut untuk biota laut yaitu < 80 mg/L.

Pada penelitian ini yaitu membuat algoritma dari data konsentrasi TSS (*in situ*) dengan menggunakan nilai reflektan dari data citra satelit. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan citra satelit Sentinel-2 dalam pengolahan TSS. Pemodelan algoritma dilakukan dengan menggunakan data lapangan, yaitu dengan mengetahui korelasi antara data TSS *in-situ* dan data reflektan terlebih dahulu. Pemodelan dibuat dengan menggunakan data TSS *in-situ* sebagai variabel terikat (tidak bebas) dan data reflektan sebagai variabel bebas. Pemodelan ini dibuat dengan menggunakan model regresi dengan kanal tunggal, rasio dua kanal maupun kombinasi rasio kanal dari kanal 2, 3 dan 4. Setelah didapatkan model regresi terbaik antara data TSS *in-situ* dan data reflektan, selanjutnya model tersebut digunakan untuk memetakan TSS dengan menggunakan citra Sentinel-2 hasil koreksi atmosfer sebagai data masukan. Dari hasil pengolahan tersebut menghasilkan algoritma yang cocok digunakan di Muara Kali Porong. Lalu terdapat perbandingan hasil konsentrasi TSS dengan menggunakan algoritma yang sudah ada dan pemodelan algoritma yang baru.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dari tesis ini adalah muara kali Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Kawasan ini secara geografis terletak di antara $7^{\circ}21'3.22''$ - $7^{\circ}44'57.48''$ LS dan $112^{\circ}47'53.59''$ - $113^{\circ}22'36.48''$ BT dengan batas selatan Kabupaten Pasuruan, batas barat Kabupaten Mojokerto, batas utara Selat Madura, dan batas timur Laut Bali.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan pada tesis ini yaitu :

1. Citra Sentinel-2 yaitu pada wilayah Muara Sungai Porong, Sidoarjo.
2. Data sampel air (*in situ*) Muara sungai Porong sejumlah 26 sampel.

3.2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

a. Perangkat Keras (*Hardware*)

1. Laptop untuk keperluan mengolah data citra satelit, perhitungan nilai TSS, analisis data hasil pengolahan, pembuatan peta persebaran TSS, dan penulisan laporan.
2. GPS *Handheld* untuk keperluan mengambil data sampel air pada titik-titik yang telah ditentukan sebelumnya
3. Kapal yang digunakan untuk mengambil sampel air sebanyak 26 sampel di perairan muara sungai Porong
4. Tongkat kayu sepanjang kurang lebih 1,5 meter untuk mengambil sampel air di perairan.
5. Botol plastik 600 ml untuk menyimpan sampel air yang telah diambil
6. Kamera digital yang digunakan untuk keperluan dokumentasi selama penelitian.
7. Jam tangan digital untuk memudahkan mencatat waktu pengambilan sampel pada formulir ukur yang telah dibuat hingga satuan detik.

b. Perangkat Lunak (*Software*)

1. Perangkat lunak pengolah data statistik
2. Perangkat lunak pengolah data citra
3. Perangkat lunak pembuatan *layout* peta.

c. Peralatan Uji Data Sampel Air

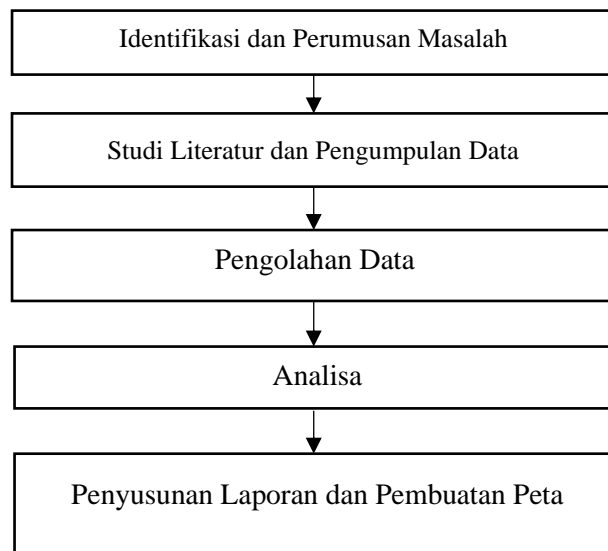
1. Desikator
2. Oven dengan operasi suhu 103°C-105°C
3. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg
4. Pengaduk magnetik

5. Pipet Volume
6. Gelas Ukur
7. Cawan Aluminium
8. Cawan Porselen
9. Penjepit
10. Kava Arloji
11. Pompa *Vacum*

3.3 Metodologi Pekerjaan

3.3.1 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan pada penelitian ini, antara lain :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

a. Tahap Persiapan

Tahapan ini terdiri dari :

1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Hal pertama yang dilakukan dalam sebuah penelitian yaitu mengidentifikasi dan merumuskan masalah pada penelitian tersebut. Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil konsentrasi TSS dari citra satelit menggunakan model TSS Parwati, Laili dan Jaelani, bagaimana hasil pemodelan algoritma empiris dan bagaimana hasil perbandingan nilai TSS di Muara Kali Porong menggunakan

penerapan model algoritma yang dibuat (empiris) dan model algoritma yang sudah ada.

2. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan berbagai macam referensi yang berkaitan tentang TSS, cara memproses data citra satelit dan data *in situ* hingga dapat dianalisa menjadi kesimpulan.

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan data pendukung yaitu citra Sentinel-2 dan data *in situ* berupa data sampel air yang diambil langsung pada studi kasus yang diambil

b. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data citra satelit Sentinel-2, serta uji data sampel air agar didapatkan kondisi persebaran TSS dan nilai TSS di muara sungai Porong Sidoarjo.

c. Analisa Hasil Pengolahan Data

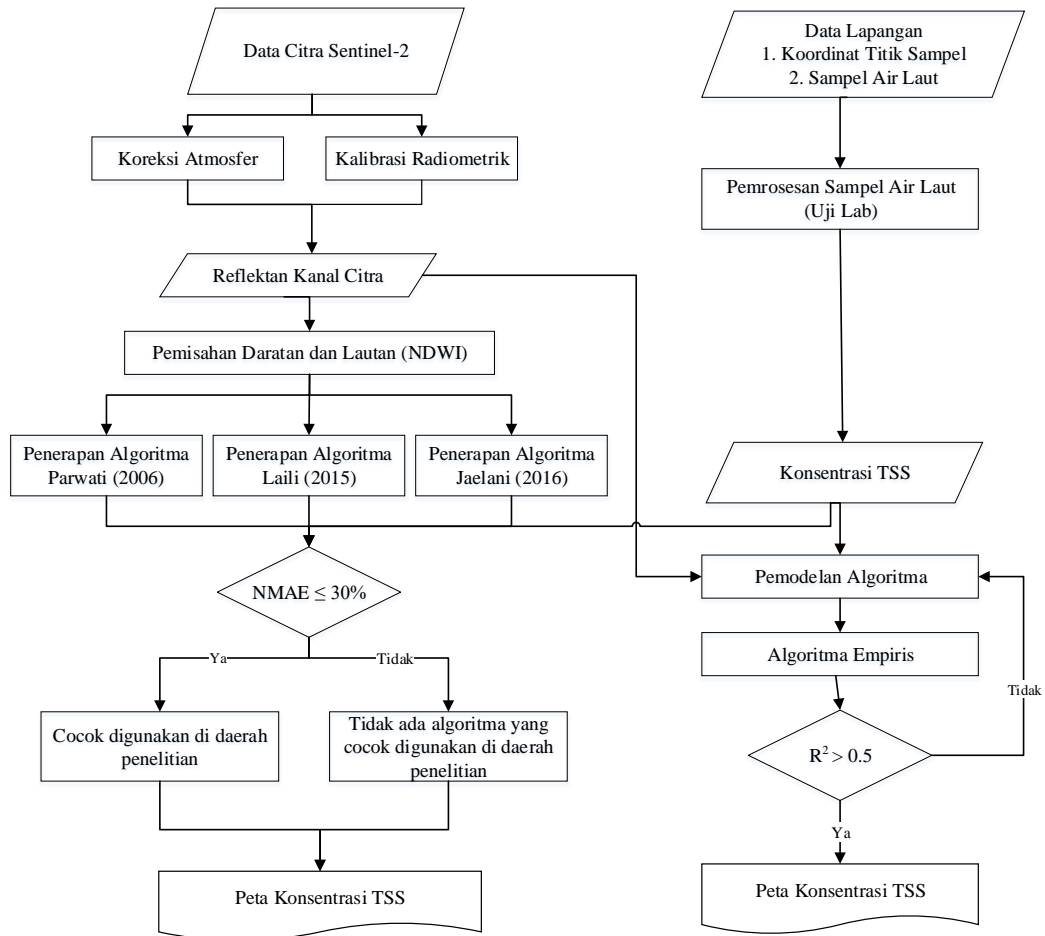
Setelah tahap pengolahan data selesai, maka dilakukan tahap analisa hasil pengolahan data citra satelit dan data *in situ*. Metode analisa yang digunakan adalah analisa deskriptif untuk menggambarkan nilai TSS yang didapatkan dari pengolahan data-data yang ada. Kemudian hasil dan kesimpulan digunakan untuk pembuatan peta kondisi perairan dan menyusun Laporan.

d. Penyusunan Laporan dan Pembuatan Peta

Tahap ini merupakan tahapan terakhir dari penelitian yaitu menyusun laporan dan membuat peta kondisi perairan yang kemudian dilanjutkan ke proses *layouting* peta.

3.3.2 Tahapan Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dapat digambarkan seperti berikut :



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data

Keterangan :

1. Data citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit Sentinel-2 dengan akuisisi data tanggal 12 November 2019. Data citra satelit sentinel-2 sudah dilakukan kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer.
2. Data sample air yang diambil di Muara Kali Porong akan dilakukan proses uji laboratorium sehingga menghasilkan konsentrasi TSS. Data sample tersebut ditentukan menyesuaikan dengan karakteristik wilayah seperti musim, arus, bathymetri, gelombang dan lain sebagainya.

3. Setelah itu melakukan validasi terhadap algoritma TSS dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Parwati (Persamaan 2.8), Laili (Persamaan 2.9) dan Jaelani (Persamaan 2.10). Jika nilai pendugaan TSS menggunakan algoritma tersebut memenuhi persyaratan ($NMAE < 30\%$) berarti algoritma tersebut dapat digunakan di lokasi penelitian tetapi jika tidak maka algoritma tersebut tidak dapat digunakan di lokasi penelitian. Setelah melakukan validasi terhadap algoritma yang telah ada, lalu melakukan pembuatan Peta Sebaran Konsentrasi Nilai TSS.
4. Pemodelan algoritma dilakukan dengan menggunakan data lapangan, yaitu dengan mengetahui korelasi antara data TSS in-situ dan data reflektan terlebih dahulu. Pemodelan dibuat dengan menggunakan data TSS in-situ sebagai variabel terikat (tidak bebas) dan data reflektan sebagai variabel bebas. Pemodelan ini dibuat dengan menggunakan model regresi dengan kanal tunggal, rasio dua kanal maupun kombinasi rasio kanal dari kanal 2, 3 dan 4. Setelah didapatkan model regresi terbaik antara data TSS in-situ dan data reflektan, selanjutnya model tersebut digunakan untuk memetakan TSS dengan menggunakan citra Sentinel-2 hasil koreksi atmosfer sebagai data masukan.
5. Perhitungan pendugaan TSS dilakukan dengan menggunakan algoritma hasil pemodelan yang mempunyai nilai koefisien korelasi (R^2) paling baik.
6. Setelah pembuatan algoritma selesai, maka dilakukan pembuatan Peta Sebaran Konsentrasi Nilai TSS menggunakan algoritma yang telah dibuat.
7. Melakukan evaluasi bagaimana perbedaan hasil TSS menggunakan algoritma yang telah ada dengan algoritma yang telah di buat (empiris).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data

4.1.1 Data Lapangan

Data lapangan yang diambil berupa sampel air laut yang kemudian diuji di laboratorium untuk menghasilkan nilai konsentrasi TSS di masing-masing titik sampel. Data lapangan diambil di Muara Sungai Porong pada tanggal 12 November 2019 pukul 09.06 sampai pukul 11.34 WIB pada 26 titik stasiun. Data konsentrasi TSS di Muara Kali Porong Sidoarjo seperti pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Distribusi Posisi Pengambilan Sample Air Laut

Titik Stasiun	Waktu	X	Y	Nilai TSS (mg/L)
S3	2019-11-12 9:06:45am	709034	9164760	51
S4	2019-11-12 9:12:52am	709096	9165280	52
S5	2019-11-12 9:17:20am	709089	9165830	11
S6	2019-11-12 9:21:25am	709000	9166440	7
S7	2019-11-12 9:25:32am	708852	9167030	7
S8	2019-11-12 9:29:57am	708685	9167590	6
S9	2019-11-12 9:34:05am	708423	9168100	6
S10	2019-11-12 9:38:24am	708066	9168530	8
S11	2019-11-12 9:44:02am	708506	9168880	7
S12	2019-11-12 9:50:29am	709033	9168870	5
S13	2019-11-12 10:00:01am	709449	9168580	4
S14	2019-11-12 10:07:23am	709692	9168200	4
S15	2019-11-12 10:13:36am	709778	9167650	5
S16	2019-11-12 10:21:10am	709999	9167120	5
S17	2019-11-12 10:29:30am	710105	9166580	9
S18	2019-11-12 10:41:14am	710239	9165440	6
S19	2019-11-12 10:44:55am	710254	9165250	7
S20	2019-11-12 10:53:26am	710221	9164590	6
S21	2019-11-12 10:59:26am	709967	9164060	7
S22	2019-11-12 11:04:43am	709586	9163610	19

Titik Stasiun	Waktu	X	Y	Nilai TSS (mg/L)
S23	2019-11-12 11:11:12am	708986	9163270	32
S24	2019-11-12 11:14:45am	708870	9162900	56
S25	2019-11-12 11:20:28am	709318	9162710	56
S26	2019-11-12 11:25:02am	709783	9162490	46
S27	2019-11-12 11:30:12am	709983	9162120	38
S28	2019-11-12 11:34:48am	709662	9161820	83

4.1.2 Data Citra Satelit Sentinel 2

Data citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit Sentinel-2 dengan akuisisi data tanggal 12 November 2019. Data citra satelit Sentinel-2 ini diunduh melalui website <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> dengan tutupan awan 23,09% seperti terlihat pada Gambar 4.1. Data citra satelit sentinel-2A sudah merupakan data BOA (*Bottom Of Atmosphere*) karena telah dilakukan kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer.



Gambar 4. 1 Citra Satelit Sentinel 2-A tanggal 12 November 2019

4.2 Nilai Reflektan Citra Sentinel-2 Terkoreksi

Pada penelitian ini kanal yang digunakan adalah kanal *Blue*, kanal *Green*, kanal *Red*, dan kanal *Near Infra Red* (NIR) untuk Sentinel-2. Nilai reflektan permukaan citra Sentinel-2 langsung diperoleh dengan mengunduh citra satelit Sentinel-2A. Data citra satelit Sentinel-2A merupakan data yang telah terkoreksi atmosfer. Berikut nilai-nilai reflektan dari beberapa kanal yang akan digunakan:

Tabel 4. 2 Nilai Reflektan Citra Satelit Sentinel-2A

Titik Stasiun	Timur (m)	Utara (m)	$\rho(\lambda_2)$	$\rho(\lambda_3)$	$\rho(\lambda_4)$	$\rho(\lambda_8)$
S3	709034	9164760	0,052	0,06	0,0409	0,014
S4	709096	9165280	0,0553	0,0656	0,0375	0,0129
S5	709089	9165830	0,053	0,0597	0,025	0,0106
S6	709000	9166440	0,0508	0,059	0,0224	0,011
S7	708852	9167030	0,0485	0,0533	0,0201	0,0103
S8	708685	9167590	0,0471	0,0498	0,0178	0,0103
S9	708423	9168100	0,0488	0,054	0,0194	0,0102
S10	708066	9168530	0,0527	0,0579	0,0196	0,0106
S11	708506	9168880	0,0503	0,0472	0,0189	0,0097
S12	709033	9168870	0,0481	0,0484	0,0185	0,0099
S13	709449	9168580	0,0412	0,0377	0,0174	0,0106
S14	709692	9168200	0,0422	0,0378	0,0175	0,0106
S15	709778	9167650	0,0395	0,0334	0,016	0,011
S16	709999	9167120	0,0406	0,0355	0,0165	0,0104
S17	710105	9166580	0,0408	0,0364	0,0167	0, 011
S18	710239	9165440	0,0611	0,0649	0,0286	0,0127
S19	710254	9165250	0,0602	0,0648	0,0282	0,012
S20	710221	9164590	0,0474	0,0493	0,0204	0,0117
S21	709967	9164060	0,0498	0,0562	0,0224	0,0095
S22	709586	9163610	0,0545	0,0573	0,0358	0,0135
S23	708986	9163270	0,0575	0,0672	0,0473	0,0168
S24	708870	9162900	0,0538	0,0665	0,0516	0,0194
S25	709318	9162710	0,0623	0,076	0,0586	0,0205
S26	709783	9162490	0,0603	0,07	0,054	0,0185

Titik Stasiun	Timur (m)	Utara (m)	$\rho(\lambda_2)$	$\rho(\lambda_3)$	$\rho(\lambda_4)$	$\rho(\lambda_8)$
S27	709983	9162120	0,0598	0,0702	0,0497	0,0162
S28	709662	9161820	0,058	0,0712	0,0594	0,0217

4.3 Pemisahan Daratan dan Lautan (*Masking*)

Masking adalah proses pemisahan antara daratan dan perairan. Proses *masking* bertujuan agar lokasi penelitian tidak nampak di area daratan dan hanya fokus di perairan saja.

Setelah mendapatkan nilai reflektan yang telah terkoreksi, nilai reflektan tersebut diubah menjadi Rrs (*Reflectance Remote Sensing*). Nilai Rrs merupakan turunan dari pengukuran *radiance* dan *irradiance* menggunakan pendekatan *bio-optical model* (Budhiman, 2014). Nilai Rrs didapatkan dari rumus :

$$Rrs(\lambda) = \rho(\lambda) / \pi \quad (4.1)$$

Tabel 4. 3 Nilai Rrs Citra Satelit Sentinel-2

Titik Stasiun	Timur (m)	Utara (m)	Rrs(λ_2)	Rrs(λ_3)	Rrs(λ_4)	Rrs(λ_8)
S3	709034	9164760	0,016552	0,019099	0,013019	0,01302
S4	709096	9165280	0,017603	0,020881	0,011937	0,00411
S5	709089	9165830	0,01687	0,019003	0,007958	0,00337
S6	709000	9166440	0,01617	0,01878	0,00713	0,0035
S7	708852	9167030	0,015438	0,016966	0,006398	0,00328
S8	708685	9167590	0,014992	0,015852	0,005666	0,00328
S9	708423	9168100	0,015534	0,017189	0,006175	0,00325
S10	708066	9168530	0,016775	0,01843	0,006239	0,00337
S11	708506	9168880	0,016011	0,015024	0,006016	0,00309
S12	709033	9168870	0,015311	0,015406	0,005889	0,00315
S13	709449	9168580	0,013114	0,012	0,005539	0,00337
S14	709692	9168200	0,013433	0,012032	0,00557	0,00337
S15	709778	9167650	0,012573	0,010632	0,005093	0,0035
S16	709999	9167120	0,012923	0,0113	0,005252	0,00331
S17	710105	9166580	0,012987	0,011586	0,005316	0,0035
S18	710239	9165440	0,019449	0,020658	0,009104	0,00404

Titik Stasiun	Timur (m)	Utara (m)	Rrs(λ_2)	Rrs(λ_3)	Rrs(λ_4)	Rrs(λ_8)
S19	710254	9165250	0,019162	0,020626	0,008976	0,00382
S20	710221	9164590	0,015088	0,015693	0,006494	0,00372
S21	709967	9164060	0,015852	0,017889	0,00713	0,00302
S22	709586	9163610	0,017348	0,018239	0,011395	0,0043
S23	708986	9163270	0,018303	0,02139	0,015056	0,00535
S24	708870	9162900	0,017125	0,021168	0,016425	0,00618
S25	709318	9162710	0,019831	0,024192	0,018653	0,00653
S26	709783	9162490	0,019194	0,022282	0,017189	0,00589
S27	709983	9162120	0,019035	0,022345	0,01582	0,00516
S28	709662	9161820	0,018462	0,022664	0,018908	0,00691

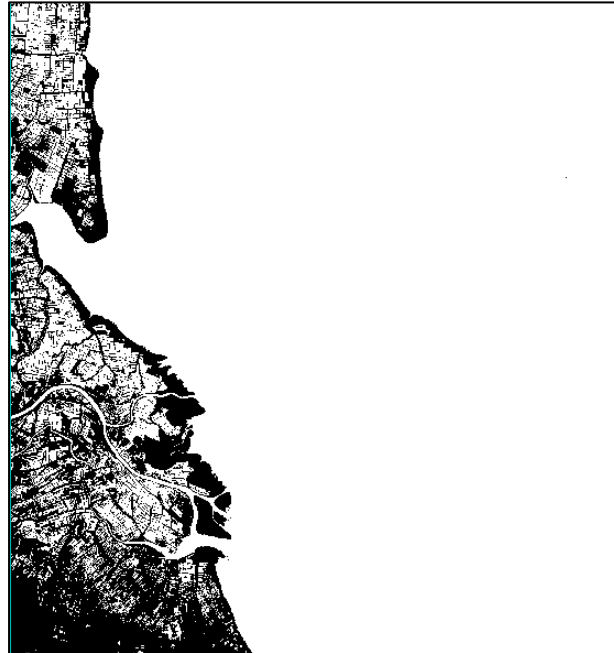
Setelah mengubah nilai reflektan ke Rrs, maka dapat melakukan perhitungan NDWI untuk mengidentifikasi objek perairan yang ada pada citra. Pemisahan daratan dan lautan ini menggunakan algoritma NDWI (*Normalized Difference Water Index*) dengan rumus seperti berikut :

$$NDWI = \frac{RRSGreen - RRSNIR}{RRSGreen + RRSNIR} \quad (4.2)$$



Gambar 4. 2 Hasil NDWI Citra Satelit Sentinel-2

Setelah itu melakukan *masking area*, ketika nilai NDWI > 0 maka daerah tersebut adalah perairan. Sedangkan ketika nilai NDWI ≤ 0, maka daerah tersebut merupakan daratan.



Gambar 4. 3 Hasil *Masking* Citra Satelit Sentinel-2

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa perairan berubah warna menjadi putih dan daratan ditandai dengan pinggirannya yang berwarna hitam.

4.4 Perhitungan Nilai TSS (*Total Suspended Solid*)

Perhitungan nilai TSS Perairan Muara Sungai Porong pada Citra Satelit Sentinel-2 12 November 2019 dilakukan menggunakan 3 algoritma TSS, yaitu Algoritma Parwati (2006), Algoritma Laili (2015), dan Algoritma Jaelani (2016), dari tiga algoritma tersebut akan dipilih satu algoritma yang memiliki nilai korelasi paling tinggi dengan data lapangan.

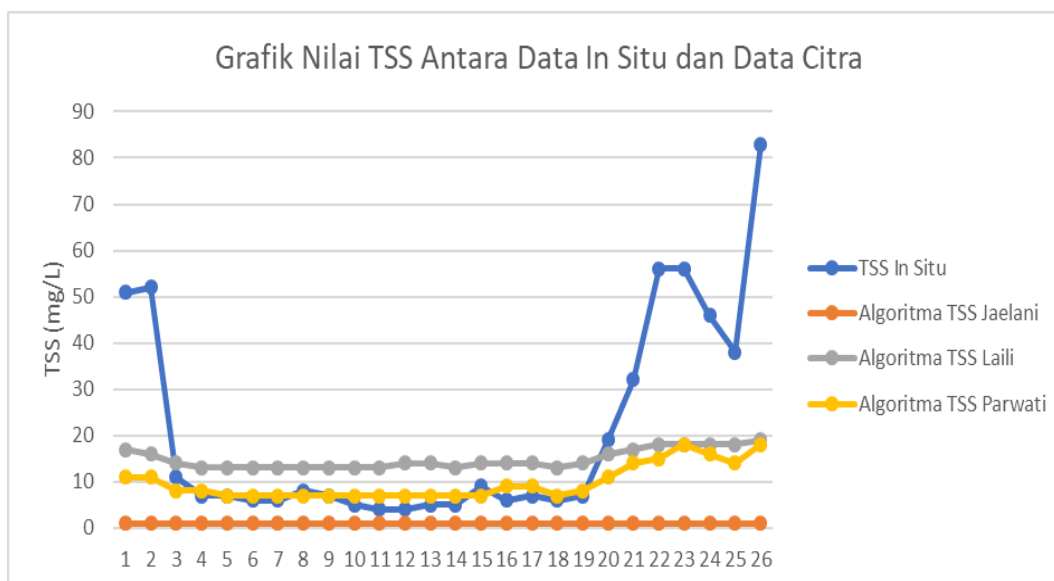
Berdasarkan hasil perhitungan TSS dari masing-masing algoritma maka didapatkan nilai TSS sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Nilai TSS Hasil Pengolahan Citra Sentinel-2 Tahun 2019

Titik	Timur (m)	Utara (m)	TSS In Situ (mg/L)	TSS Jaelani (mg/L)	TSS Laili (mg/L)	TSS Parwati (mg/L)
S3	709034	9164760	51	1	17	11
S4	709096	9165280	52	1	16	11

Titik	Timur (m)	Utara (m)	TSS In Situ (mg/L)	TSS Jaelani (mg/L)	TSS Laili (mg/L)	TSS Parwati (mg/L)
S5	709089	9165830	11	1	14	8
S6	709000	9166440	7	1	13	8
S7	708852	9167030	7	1	13	7
S8	708685	9167590	6	1	13	7
S9	708423	9168100	6	1	13	7
S10	708066	9168530	8	1	13	7
S11	708506	9168880	7	1	13	7
S12	709033	9168870	5	1	13	7
S13	709449	9168580	4	1	13	7
S14	709692	9168200	4	1	14	7
S15	709778	9167650	5	1	14	7
S16	709999	9167120	5	1	13	7
S17	710105	9166580	9	1	14	7
S18	710239	9165440	6	1	14	9
S19	710254	9165250	7	1	14	9
S20	710221	9164590	6	1	13	7
S21	709967	9164060	7	1	14	8
S22	709586	9163610	19	1	16	11
S23	708986	9163270	32	1	17	14
S24	708870	9162900	56	1	18	15
S25	709318	9162710	56	1	18	18
S26	709783	9162490	46	1	18	16
S27	709983	9162120	38	1	18	14
S28	709662	9161820	83	1	19	18

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai TSS bervariasi, dengan konsentrasi TSS tinggi di sekitar Muara Kali Porong dan semakin ke tengah laut tingkat konsentrasinya semakin rendah.



Grafik 4. 1 Nilai TSS Antara Data In Situ dengan Data Citra Menggunakan Beberapa Algoritma

4.5 Uji Korelasi dan Uji Validasi

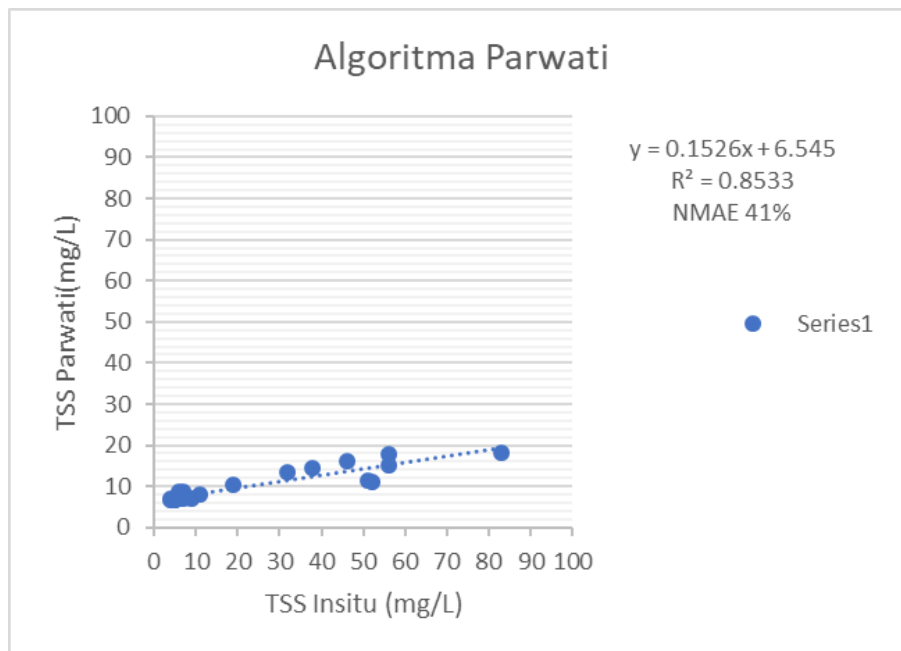
Uji korelasi dan validasi dilakukan antara nilai TSS hasil pengolahan citra Sentinel-2 pada tanggal 12 November 2019 dengan menggunakan 3 algoritma TSS dan nilai TSS data *in situ*. Pengambilan data *in situ* disesuaikan dengan waktu perekaman Citra Sentinel-2 agar dapat dianggap sama, dan hasil TSS citra dapat mewakili nilai TSS yang ada di lapangan.

Uji korelasi ini dilakukan dengan menggunakan regresi linier sederhana yang bertujuan untuk melihat sejauh mana kedekatan atau kebaikan data citra yang digunakan. Setelah diketahui nilai korelasi masing-masing algoritma, maka dilakukan uji validasi. Uji validasi dalam penelitian ini menggunakan metode *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) dengan toleransi nilai absolut error sebesar $\leq 30\%$. Berikut didapatkan hasil korelasi dari masing-masing nilai Algoritma TSS dengan nilai data *in situ* dan merupakan hasil perhitungan NMAE dari masing-masing Algoritma TSS yang digunakan:

- Algoritma Parwati (2014)

Dari pengolahan data *in situ* dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 menggunakan Algoritma Parwati (2014) didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,8533. Hal tersebut menunjukkan bahwa

hasil data in situ dan hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Parwati (2014) dianggap memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat. Pada grafik 4.2 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Parwati (2014) dan nilai TSS lapangan mencapai 41% yang berarti telah melewati teloransi error yaitu 30%, maka algoritma tersebut tidak sesuai dengan hasil TSS lapangan Perairan Muara Sungai Porong Sidoarjo.

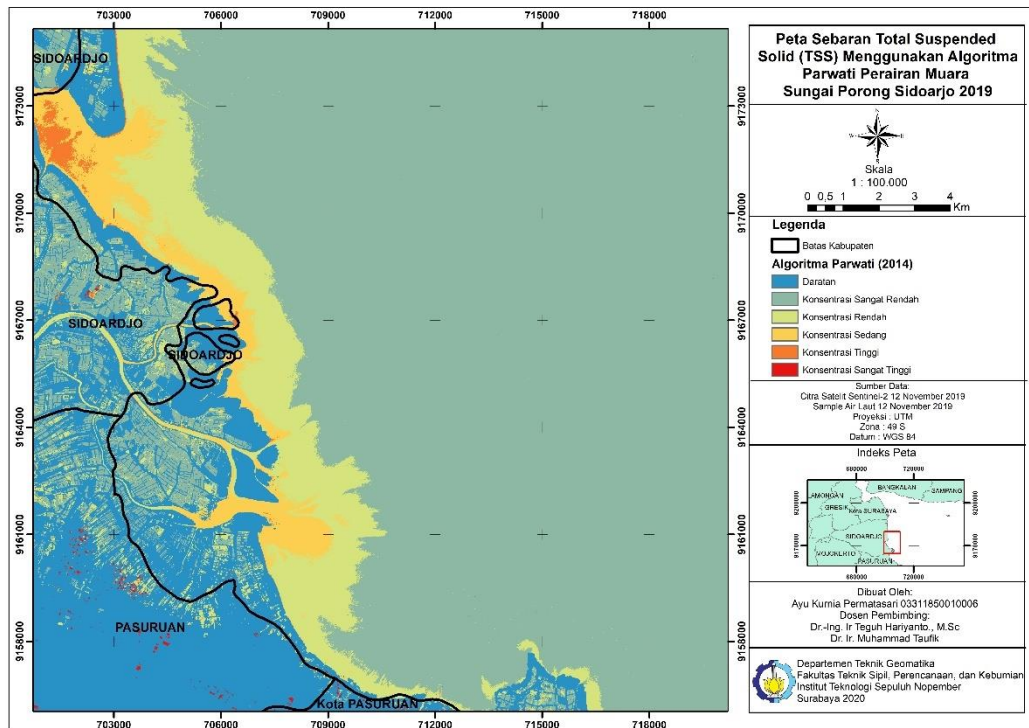


Grafik 4. 2 Korelasi Nilai TSS Lapangan dan TSS Algoritma Parwati

Berikut adalah hasil dari klasifikasi sebaran *total suspended solid* menggunakan algoritma Parwati (2014) menggunakan klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004:

Tabel 4. 5 Klasifikasi Tingkat Konsentrasi TSS Berdasarkan Keputusan Menteri

Tingkat Konsentrasi	Rentang Konsentrasi TSS (mg/L)
Sangat Rendah	0-15
Rendah	15,01 - 25
Sedang	25,01 - 35
Tinggi	35, 01 - 80
Sangat Tinggi	>80



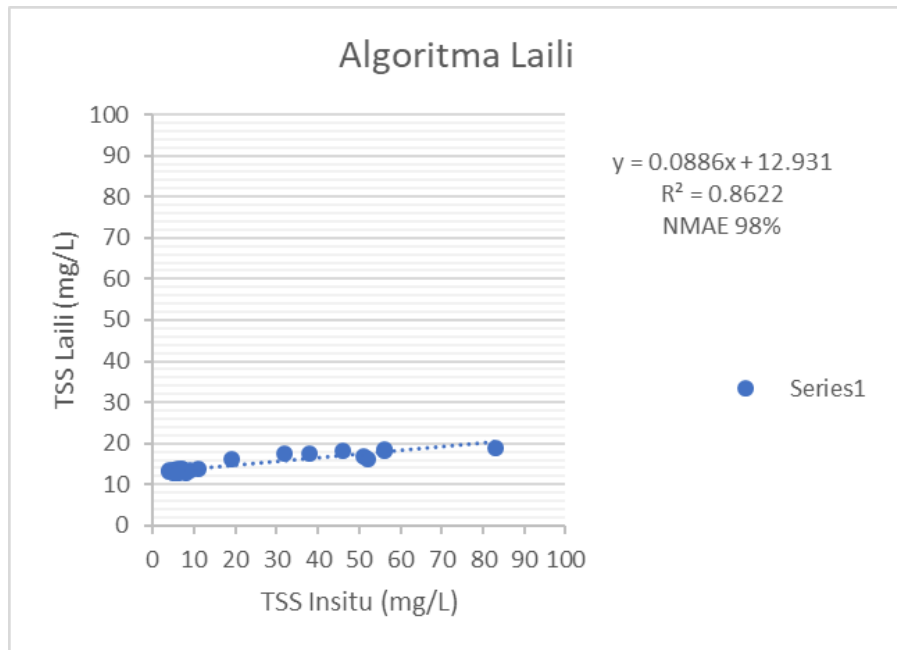
Gambar 4. 4 Peta Sebaran TSS Menggunakan Algoritma Parwati dengan Klasifikasi Berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004

Berdasarkan 5 (lima) klasifikasi tingkat konsentrasi, yaitu sangat tinggi, tinggi, cukup, rendah, dan sangat rendah. Hasil klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004 dari pengolahan menggunakan Algoritma Parwati (2014), tidak terdapat tingkat konsentrasi sangat tinggi. Terdapat konsentrasi sedang didaerah tepi laut terutama pada muara kali Porong, semakin ke tengah laut maka tingkat konsentrasinya semakin rendah.

- Algoritma Laili (2015)

Dari pengolahan data *in situ* dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 menggunakan Algoritma Laili (2015) didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,8622. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil data *in situ* dan hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Laili (2015) dianggap memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat. Pada grafik 4.3 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Laili (2015) dan nilai TSS lapangan mencapai 98% yang berarti

telah melewati teloransi error yaitu 30%, maka algoritma tersebut tidak sesuai dengan hasil TSS lapangan Perairan Muara Sungai Porong Sidoarjo.

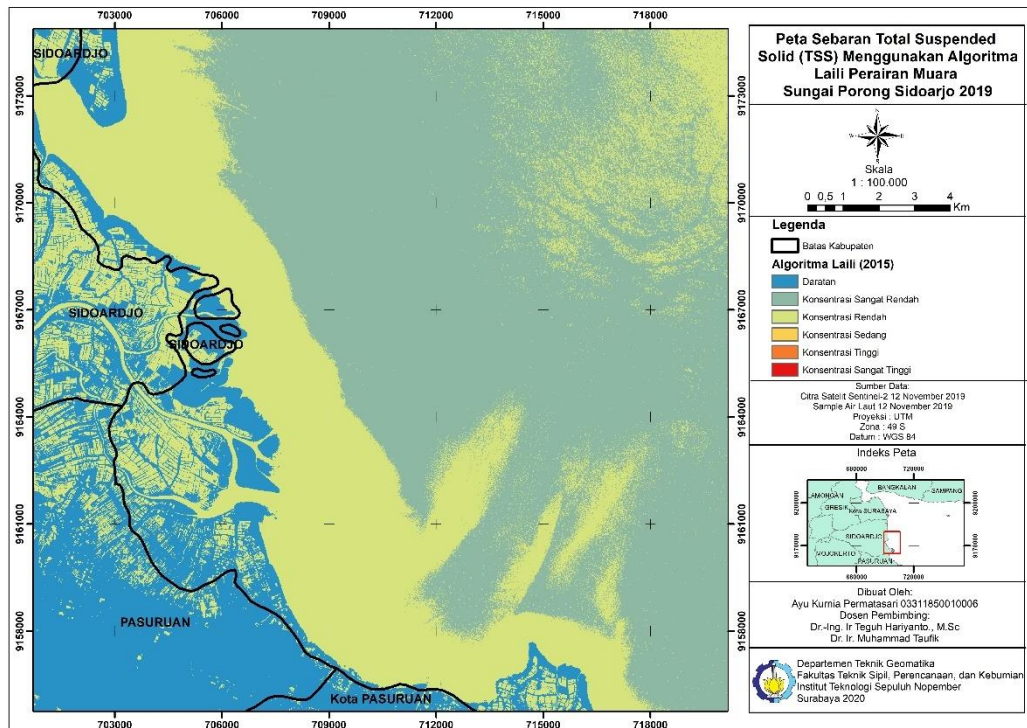


Grafik 4. 3 Korelasi Nilai TSS Lapangan dan TSS Algoritma Laili

Berikut adalah hasil dari klasifikasi sebaran total suspended solid menggunakan algoritma Laili (2015) menggunakan klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004:

Tabel 4. 6 Klasifikasi Tingkat Konsentrasi TSS Berdasarkan Keputusan Menteri

Tingkat Konsentrasi	Rentang Konsentrasi TSS (mg/L)
Sangat Rendah	0-15
Rendah	15,01 - 25
Sedang	25,01 - 35
Tinggi	35, 01 - 80
Sangat Tinggi	>80



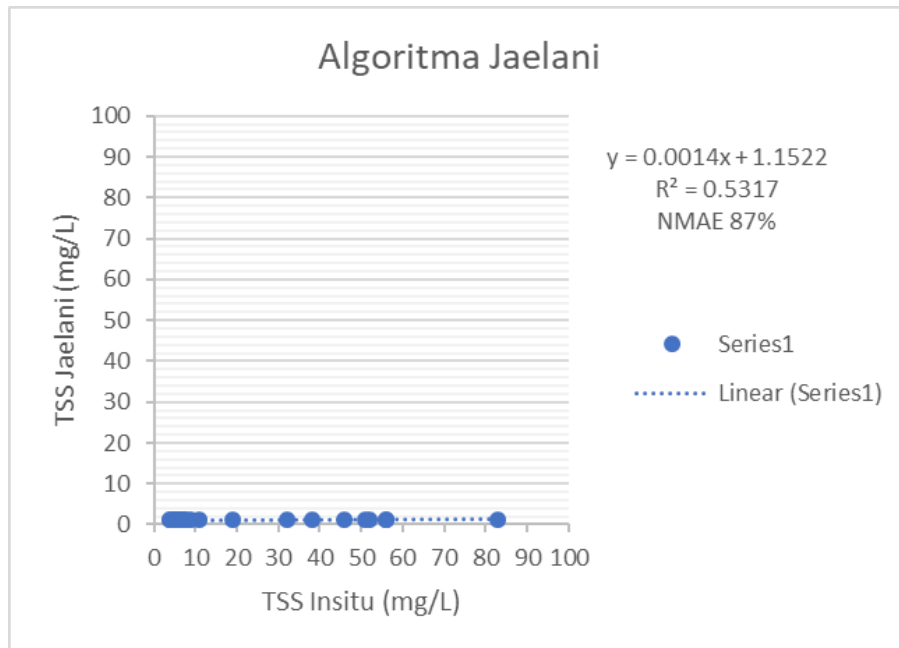
Gambar 4. 5 Peta Sebaran TSS Menggunakan Algoritma Laili dengan Klasifikasi Berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004

Berdasarkan 5 (lima) klasifikasi tingkat konsentrasi, yaitu sangat tinggi, tinggi, cukup, rendah, dan sangat rendah. Hasil klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004 dari pengolahan menggunakan Algoritma Laili (2015), tidak terdapat tingkat konsentrasi sangat tinggi, tinggi dan sedang. Terdapat konsentrasi rendah di sekitar tepi laut terutama pada muara kali Porong, semakin ke tengah laut maka tingkat konsentrasinya sangat rendah.

- Algoritma Jaelani (2016)

Dari pengolahan data *in situ* dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 menggunakan Algoritma Jaelani (2016) didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,5317. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil data *in situ* dan hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Jaelani (2016) dianggap memiliki hubungan korelasi kuat. Pada grafik 4.4 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Jaelani (2016) dan nilai TSS lapangan mencapai 87% yang berarti telah

melewati teloransi error yaitu 30%, maka algoritma tersebut tidak sesuai dengan dengan hasil TSS lapangan Perairan Muara Sungai Porong Sidoarjo.

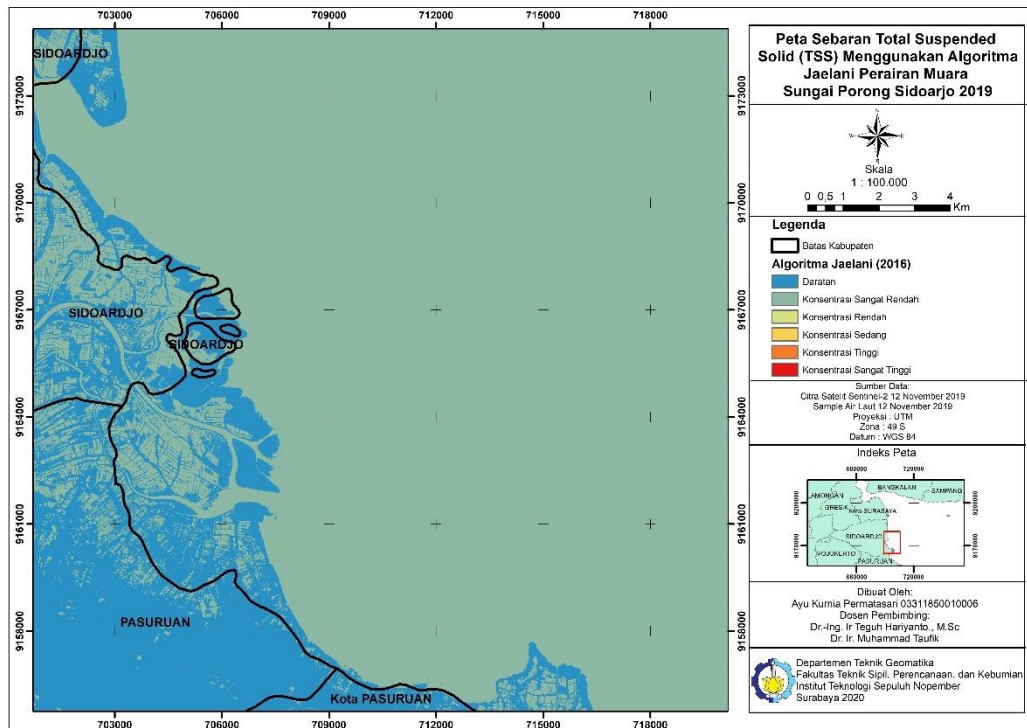


Grafik 4. 4 Korelasi Nilai TSS Lapangan dan TSS Algoritma Jaelani

Berikut adalah hasil dari klasifikasi sebaran total suspended solid menggunakan algoritma Laili (2015) menggunakan klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004:

Tabel 4. 7 Klasifikasi Tingkat Konsentrasi TSS Berdasarkan Keputusan Menteri

Tingkat Konsentrasi	Rentang Konsentrasi TSS (mg/L)
Sangat Rendah	0-15
Rendah	15,01 - 25
Sedang	25,01 - 35
Tinggi	35, 01 - 80
Sangat Tinggi	>80



Gambar 4. 6 Peta Sebaran TSS Menggunakan Algoritma Jaelani dengan Klasifikasi Berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004

Berdasarkan 5 (lima) klasifikasi tingkat konsentrasi, yaitu sangat tinggi, tinggi, cukup, rendah, dan sangat rendah. Hasil klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004 dari pengolahan menggunakan Algoritma Jaelani (2016), tidak terdapat tingkat konsentrasi sangat tinggi, tinggi, sedang dan rendah. Terdapat konsentrasi sangat rendah di seluruh perairan.

Berdasarkan grafik 2, 3 dan 4 dapat dilihat bahwa Algoritma Laili (2015) memiliki nilai korelasi yang paling tinggi dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,8622. Hal tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara nilai TSS data citra dengan TSS data *In Situ* yang paling baik apabila dibandingkan dengan 2 algoritma lain yang digunakan dengan nilai $0,75 < R^2 \leq 0,99$ atau bisa disebut korelasi sangat kuat.

Berdasarkan grafik 2, 3 dan 4 dapat dilihat bahwa akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Parwati (2006) dan nilai TSS lapangan mencapai 41% yang berarti hasil TSS dari algoritma Parwati (2006) yang paling baik diantara 2

algoritma yang lain tetapi hasil akurasi tersebut melewati teloransi error yaitu 30%, maka dari 3 algoritma tersebut tidak sesuai dengan hasil TSS lapangan Perairan Muara Sungai Porong Sidoarjo.

Setelah uji korelasi dilakukan, didapatkan algoritma yang memiliki nilai koefisien korelasi (R^2) tertinggi yaitu Algoritma Laili (2015) dengan nilai R^2 sebesar 0,8812. Hasil dari uji validasi yaitu dari 3 algoritma yang digunakan tidak ada yang masuk dalam toleransi nilai absolut error.

Dari hubungan tersebut dijelaskan bahwa sebagian besar TSS di lapangan dapat dijelaskan oleh citra. Untuk perhitungan TSS menggunakan algoritma lainnya memiliki perbedaan yang cukup menonjol antara citra dan data lapangan hal ini dapat disebabkan karena perbedaan waktu perekaman citra dan waktu pengambilan data *in situ*, pengaruh radiometric dan perbedaan karakteristik perairan studi algoritma TSS dan perairan Sidoarjo.

4.6 Pemodelan Algoritma TSS

Pemodelan algoritma empiris konsentrasi TSS menggunakan 3 (tiga) kanal yaitu kanal 2 (biru), kanal 3 (hijau) dan kanal 4 (merah) dengan pertimbangan ketiga kanal tersebut merupakan kanal yang sangat sensitif terhadap TSS di perairan jernih. Pemodelan algoritma menggunakan model regresi linear dengan nilai konsentrasi TSS *in situ* dan nilai remote sensing reflektan ($Rrs(\lambda)$) yang telah terkoreksi atmosfer sebagai masukan. Nilai konsentrasi TSS *in situ* sebagai variabel tidak bebas, sedangkan nilai $Rrs(\lambda)$ sebagai variabel bebas. Model regresi dengan nilai koefisien korelasi (R^2) tertinggi dipilih sebagai algoritma empiris yang akan digunakan untuk pendugaan nilai konsentrasi TSS di perairan Muara Kali Porong.

Model regresi dengan nilai koefisien korelasi (R^2) pemodelan algoritma seperti pada Tabel 4.5-4.7 berikut:

Tabel 4. 8 Koefisien Korelasi (R^2) Kanal Tunggal

Model Regresi	λ_2	λ_3	λ_4
TSS = ax + b	0,337719836	0,482068822	0,844718072
TSS = a*log(x)+b	0,329921269	0,418208165	0,798136041

Tabel 4. 9 Koefisien Korelasi (R^2) Rasio Dua Kanal

Model Regresi	λ_2/λ_3	λ_2/λ_4	λ_3/λ_4
TSS = $a*(bi/bj)+b$	0,414122401	0,823748724	0,713620707
TSS = $a*\log(bi/bj)+b$	0,450708459	0,864892719	0,774893232
TSS = $a*(\log(bi)/\log(bj))+b$	0,490333983	0,881235263	0,745301512

Tabel 4. 10 Koefisien Korelasi (R^2) Kombinasi Rasio Kanal

Model Regresi	$\lambda_4/(\lambda_2-\lambda_3)$	$\lambda_3/(\lambda_2-\lambda_4)$	$\lambda_2/(\lambda_3-\lambda_4)$
TSS = $a*(bi/(bj-bk))+b$	1,36E-03	0,021458493	0,766951013
TSS = $a*\log(bi/(bj-bk))+b$	0,715689348	0,71862385	0,711666086
TSS = $a*(\log(bi)/(\log(bj)-\log(bk)))+b$	0,016372422	0,02350032	0,859027123

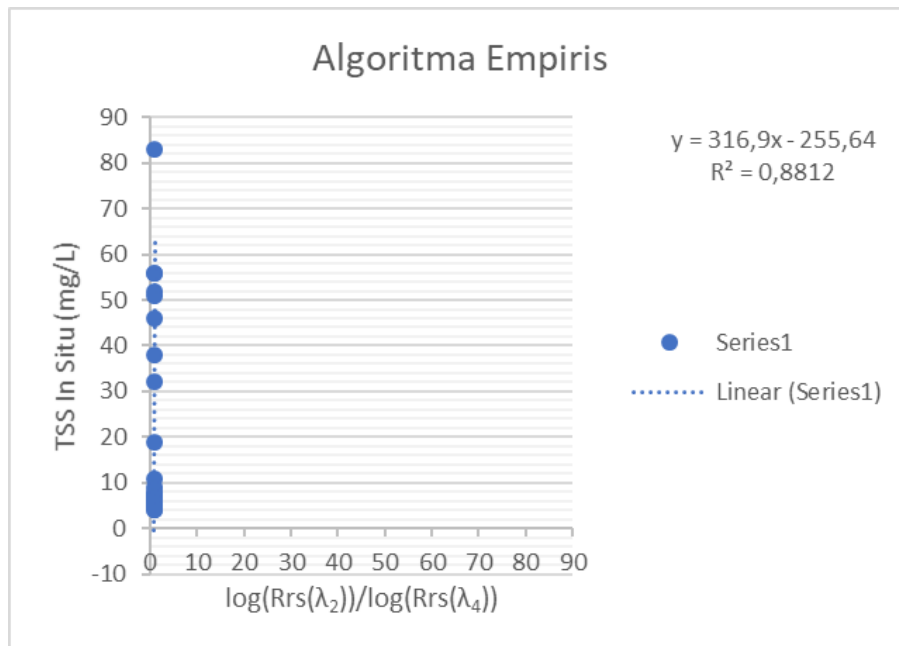
Model Regresi	$\lambda_4/(\lambda_2+\lambda_3)$	$\lambda_3/(\lambda_2+\lambda_4)$	$\lambda_2/(\lambda_3+\lambda_4)$
TSS = $a*(bi/(bj+bk))+b$	0,86947776	0,24734404	0,762327569
TSS = $a*\log(bi/(bj+bk))+b$	0,840045681	0,250095518	0,811048696
TSS = $a*(\log(bi)/(\log(bj)+\log(bk)))+b$	0,825627558	0,38474794	0,875716561

Model Regresi	$\lambda_2/(\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4)$	$\lambda_3/(\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4)$	$\lambda_4/(\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4)$
TSS = $a*(bi/(bi+bj+bk))+b$	0,800008744	0,249651206	0,857853718
TSS = $a*\log(bi/(bi+bj+bk))+b$	0,827011479	0,251071725	0,831559299
TSS = $a*(\log(bi)/(\log(bi)+\log(bj)+\log(bk)))+b$	0,87189012	0,382245636	0,83229511

Dari Tabel 4.11-4.13 di atas nilai R^2 tertinggi adalah pada rasio kanal 2 dan kanal 4 (λ_2/λ_4) dengan nilai $R^2 = 0,881$. Algoritma empiris yang terbentuk dari model regresi tersebut seperti pada Persamaan 4.3 dan Grafik 4.5 berikut:

$$TSS \text{ (mg/L)} = 316.9 * \left(\frac{\log(Rrs(\lambda_2))}{\log(Rrs(\lambda_4))} \right) - 255.64 \quad (4.3)$$

Pada pemodelan algoritma ini menggunakan validasi $R^2 > 0,5$ dan yang digunakan adalah korelasi yang paling baik yaitu 0,881 dengan menggunakan kombinasi kanal biru dan kanal merah.

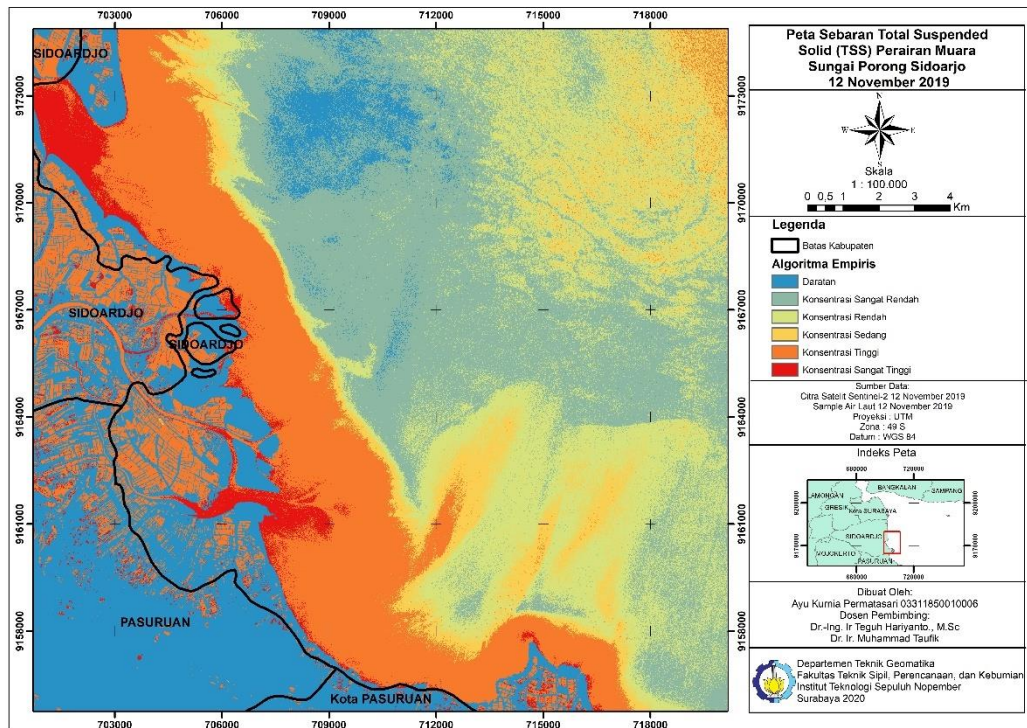


Grafik 4. 5 Regresi Linier Algoritma Empiris

Berikut adalah hasil dari klasifikasi sebaran *total suspended solid* menggunakan penerapan algoritma empiris menggunakan klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004:

Tabel 4. 11 Klasifikasi Tingkat Konsentrasi TSS Berdasarkan Keputusan Menteri

Tingkat Konsentrasi	Rentang Konsentrasi TSS (mg/L)
Sangat Rendah	0-15
Rendah	15,01 - 25
Sedang	25,01 - 35
Tinggi	35, 01 - 80
Sangat Tinggi	>80



Gambar 4. 7 Peta Sebaran TSS Menggunakan Algoritma Empiris dengan Klasifikasi Berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004

Berdasarkan 5 (lima) klasifikasi tingkat konsentrasi, yaitu sangat tinggi, tinggi, cukup, rendah, dan sangat rendah. Hasil klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004 dari pengolahan menggunakan Algoritma Empiris, terdapat tingkat konsentrasi sangat tinggi di sekitar muara kali Porong. Terdapat konsentrasi tinggi di sekitar tepi laut semakin ke tengah laut maka tingkat konsentrasinya semakin rendah.

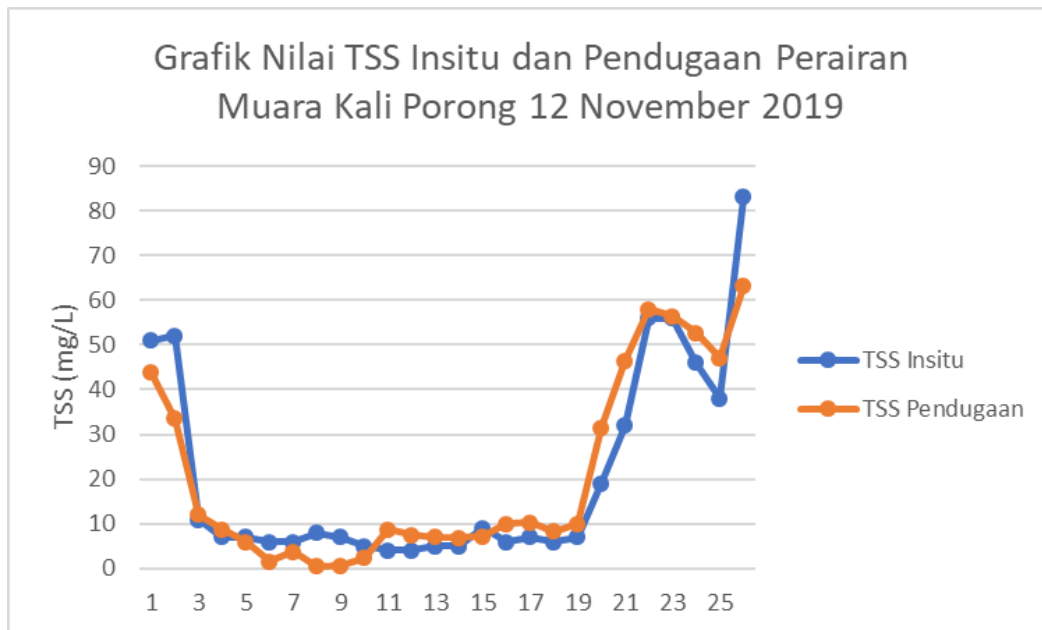
4.7 Pendugaan dan Analisa Sebaran Konsentrasi TSS

Pendugaan Konsentrasi TSS di perairan Muara Kali Porong dengan mengaplikasikan algoritma empiris (Persamaan 4.3) yang telah dimodelkan dengan $Rrs(\lambda)$ sebagai masukan dapat dilihat pada Tabel 4.15 sebagai berikut:

Tabel 4. 12 Perbandingan Nilai TSS in-situ dengan TSS Pendugaan

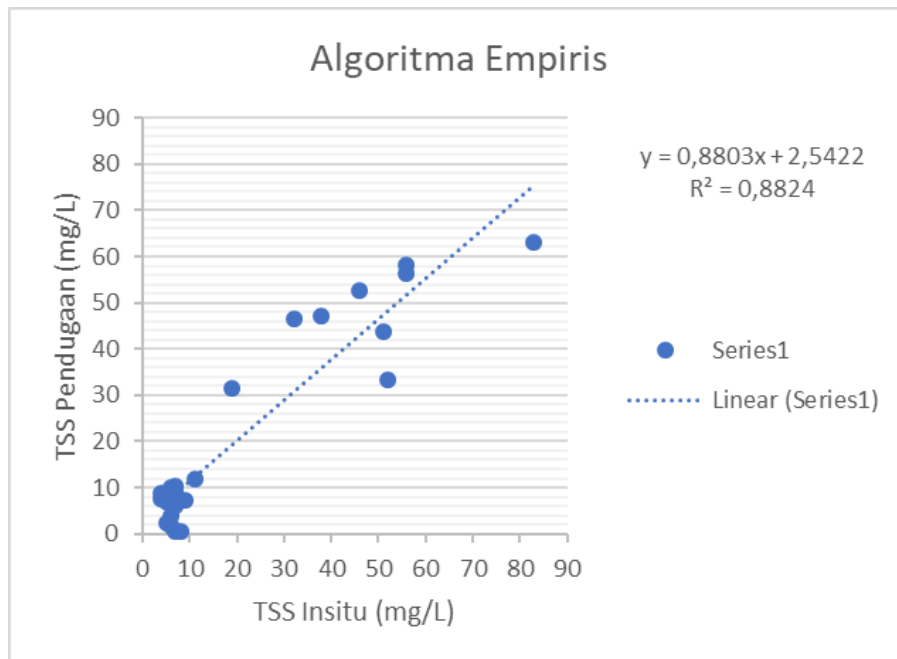
Titik	Easting	Northing	TSS In Situ (mg/L)	TSS Pendugaan (mg/L)
S3	709034	9164760	51	44

Titik	Easting	Northing	TSS In Situ (mg/L)	TSS Pendugaan (mg/L)
S4	709096	9165280	52	33
S5	709089	9165830	11	12
S6	709000	9166440	7	9
S7	708852	9167030	7	6
S8	708685	9167590	6	2
S9	708423	9168100	6	4
S10	708066	9168530	8	0
S11	708506	9168880	7	1
S12	709033	9168870	5	2
S13	709449	9168580	4	9
S14	709692	9168200	4	8
S15	709778	9167650	5	7
S16	709999	9167120	5	7
S17	710105	9166580	9	7
S18	710239	9165440	6	10
S19	710254	9165250	7	10
S20	710221	9164590	6	8
S21	709967	9164060	7	10
S22	709586	9163610	19	31
S23	708986	9163270	32	47
S24	708870	9162900	56	58
S25	709318	9162710	56	56
S26	709783	9162490	46	53
S27	709983	9162120	38	47
S28	709662	9161820	83	63



Grafik 4. 6 Nilai TSS In Situ dan Pendugaan Perairan Muara Kali Porong 12 November 2019

Dari Tabel 4.15 di atas diperoleh informasi bahwa nilai pendugaan konsentrasi TSS dari algoritma yang dibangun dari $Rrs(\lambda)$ berkisar antara 0 mg/L (stasiun 10) sampai 63 mg/L (stasiun 28). Sedangkan nilai konsentrasi TSS *in-situ* di perairan Muara Kali Porong berkisar antara 4 mg/L (stasiun 13 dan 14) sampai 83 mg/L (stasiun 28). Nilai pendugaan konsentrasi TSS dari algoritma empiris berada pada kisaran konsentrasi TSS hasil pengukuran di lapangan. Sebaran TSS tertinggi berada di perairan yang sangat dekat muara karena dipengaruhi oleh pembuangan lumpur lapindo yang terbawa oleh arus laut yang membawa partikel TSS dari kali Porong. TSS yang berasal dari kali Porong yang merupakan buangan dari lumpur lapindo terbawa arus ke arah laut melalui perairan antara kedua pulau dan bahkan sudah ada yang terbentuk pulau baru yaitu Pulau LUSI (Lumpur Sidoarjo).



Grafik 4. 7 Korelasi Nilai TSS Lapangan dan TSS Pendugaan (Algoritma Empiris)

Dari pengolahan data in situ dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 menggunakan Algoritma Empiris didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,8824. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil data *in situ* dan hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Empiris dianggap memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat, yang berarti hasil TSS dari algoritma empiris sesuai dengan hasil TSS lapangan Perairan Muara Sungai Porong Sidoarjo.

4.8 Evaluasi Perbandingan Hasil Algoritma Empiris dengan Algoritma yang Sudah Ada

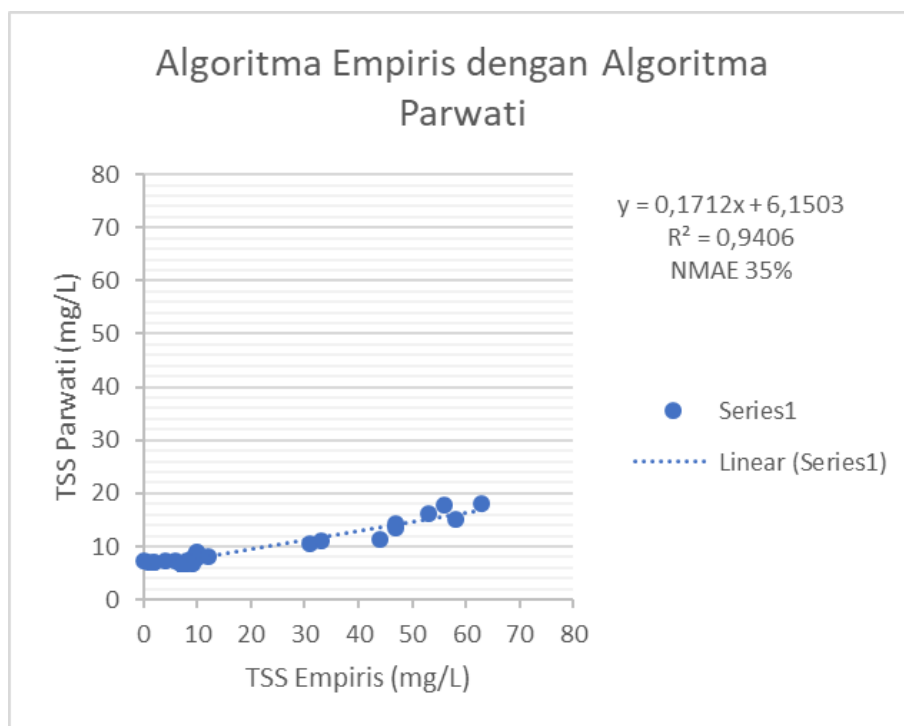
Berdasarkan hasil perhitungan TSS dari masing-masing algoritma maka didapatkan nilai TSS sebagai berikut :

Titik	Easting	Northing	Algoritma Empiris (mg/L)	TSS Jaelani (mg/L)	TSS Laili (mg/L)	TSS Parwati (mg/L)
3	709034	9164760	44	1	17	11
4	709096	9165280	33	1	16	11
5	709089	9165830	12	1	14	8
6	709000	9166440	9	1	13	8
7	708852	9167030	6	1	13	7

Titik	Easting	Northing	Algoritma Empiris (mg/L)	TSS Jaelani (mg/L)	TSS Laili (mg/L)	TSS Parwati (mg/L)
8	708685	9167590	2	1	13	7
9	708423	9168100	4	1	13	7
10	708066	9168530	0	1	13	7
11	708506	9168880	1	1	13	7
12	709033	9168870	2	1	13	7
13	709449	9168580	9	1	13	7
14	709692	9168200	8	1	14	7
15	709778	9167650	7	1	14	7
16	709999	9167120	7	1	13	7
17	710105	9166580	7	1	14	7
18	710239	9165440	10	1	14	9
19	710254	9165250	10	1	14	9
20	710221	9164590	8	1	13	7
21	709967	9164060	10	1	14	8
22	709586	9163610	31	1	16	11
23	708986	9163270	47	1	17	14
24	708870	9162900	58	1	18	15
25	709318	9162710	56	1	18	18
26	709783	9162490	53	1	18	16
27	709983	9162120	47	1	18	14
28	709662	9161820	63	1	19	18

4.8.1 Perbandingan hasil TSS Algoritma Empiris dengan Algoritma Parwati

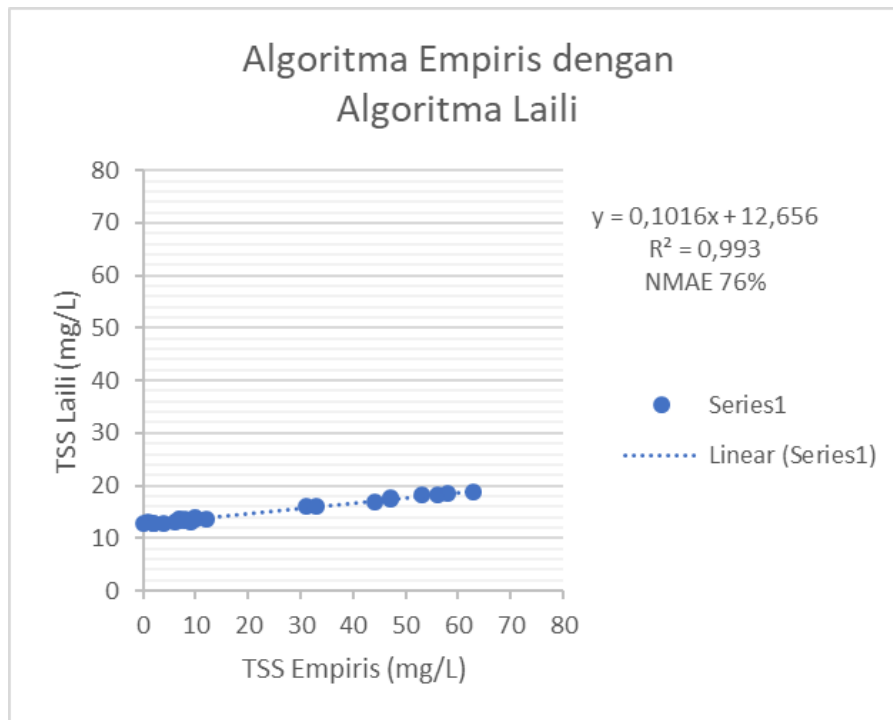
Dari pengolahan penerapan algoritma empiris dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 menggunakan Algoritma Parwati (2014) didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9406. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil data *in situ* dan hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Parwati (2014) dianggap memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat. Pada grafik 4.8 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Parwati (2014) dan nilai TSS yang didapat dari Algoritma Empiris mencapai 35%.



Grafik 4. 8 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris dengan Algoritma Parwati

4.8.2 Perbandingan hasil TSS Algoritma Empiris dengan Algoritma Laili

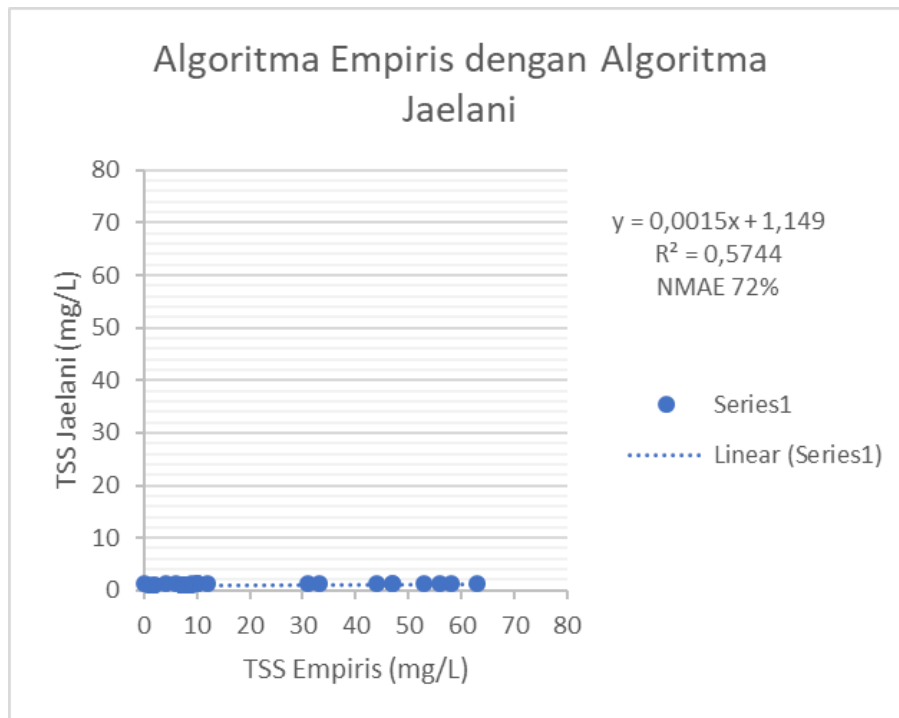
Dari pengolahan penerapan algoritma empiris dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 menggunakan Algoritma Laili (2015) didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,993. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil data *in situ* dan hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Laili (2015) dianggap memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat. Pada grafik 4.9 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Laili (2015) dan nilai TSS yang didapat dari Algoritma Empiris mencapai 76%.



Grafik 4. 9 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris dengan Algoritma Laili

4.8.3 Perbandingan hasil TSS Algoritma Empiris dengan Algoritma Jaelani

Dari pengolahan penerapan algoritma empiris dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 menggunakan Algoritma Jaelani (2016) didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,5744. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil data *in situ* dan hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Jaelani (2016) dianggap memiliki hubungan korelasi kuat. Pada grafik 4.9 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Jaelani (2016) dan nilai TSS yang didapat dari Algoritma Empiris mencapai 72%.



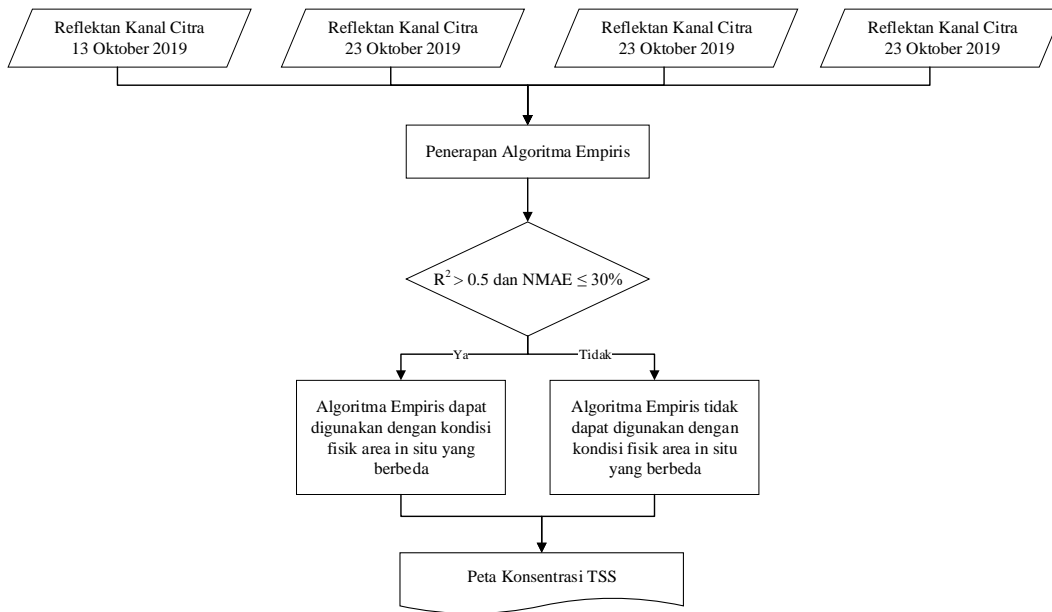
Grafik 4. 10 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris dengan Algoritma Jaelani

Berdasarkan grafik 8, 9 dan 10 dapat dilihat bahwa Algoritma Laili (2015) memiliki nilai korelasi yang paling tinggi dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,993. Hal tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara nilai TSS menggunakan algoritma empiris dengan TSS menggunakan algoritma Laili yang paling baik apabila dibandingkan dengan 2 algoritma lain yang digunakan dengan nilai $R^2 = 0,993$ atau bisa disebut korelasi sangat kuat. Hal ini terjadi dimungkinkan karena algoritma empiris dengan algoritma Laili menggunakan model algoritma yang sama, yaitu model regresi linier rasio kanal 2 dan kanal 4 (λ_2 / λ_4), sehingga dapat menghasilkan koefisien korelasi yang sangat kuat.

Berdasarkan grafik 8, 9 dan 10 dapat dilihat bahwa akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Empris, tidak ada algoritma yang masuk dalam toleransi nilai absolut eror sebesar $\leq 30\%$. Hasil akurasi algoritma empiris dengan algoritma Parwati mencapai 35%, hasil akurasi algoritma empiris dengan algoritma Laili mencapai 76% dan hasil akurasi algoritma empiris dengan algoritma Jaelani mencapai 71%.

4.9 Nilai TSS Hasil Pengolahan Citra Satelit Sentinel-2 Multitemporal

Algoritma empiris yang telah didapatkan selanjutnya akan dilakukan perhitungan nilai TSS pada citra satelit Sentinel-2 pada tanggal 13 Oktober 2019, 23 Oktober 2019, 12 November 2019, 22 November 2019 dan 2 Desember 2019 untuk mengetahui kondisi konsentrasi TSS di Muara Sungai Porong pada waktu itu.



Gambar 4. 8 Diagram Alir Pengolahan Citra Multitemporal

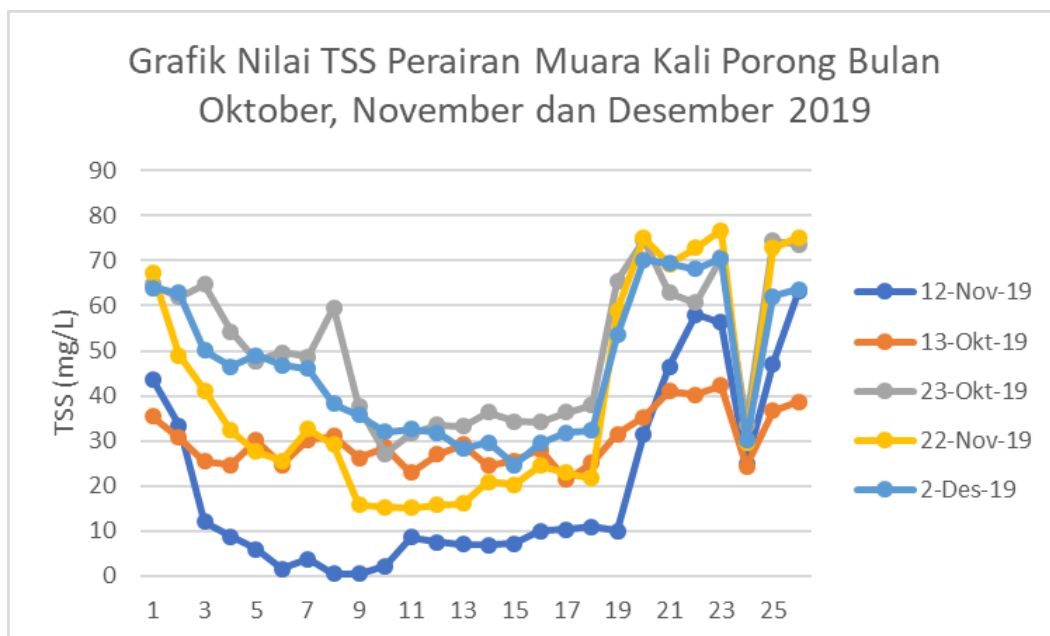
Penerapan algoritma empiris di lokasi yang sama dengan waktu yang berbeda-beda yaitu pada tanggal 13 Oktober 2019, 23 Oktober 2019, 12 November 2019, 22 November 2019 dan 2 Desember 2019 yang bertujuan untuk mengetahui kondisi konsentrasi TSS di Muara Sungai Porong pada waktu itu. Apabila dari hasil pengolahan dapat memenuhi $R^2 > 0,5$ dan $NMAE \leq 30\%$ maka algoritma empiris dapat digunakan dengan kondisi fisik area *in situ* yang berbeda, tetapi jika tidak berarti algoritma empiris tidak dapat digunakan dengan kondisi fisik area *in situ* yang berbeda.

Berikut adalah hasil perhitungan TSS pada tanggal 13 Oktober 2019, 23 Oktober 2019, 12 November 2019, 22 November 2019 dan 2 Desember 2019 sebagai berikut :

Tabel 4. 13 Nilai TSS pada tanggal 13 Oktober 2019, 23 Oktober 2019, 12 November 2019, 22 November 2019 dan 2 Desember 2019, di Perairan Muara Sungai Porong

Titik	Timur (m)	Utara (m)	Nilai TSS (mg/L)	TSS 13-Okt (mg/L)	TSS 23-Okt (mg/L)	TSS 12-Nov (mg/L)	TSS 22-Nov (mg/L)	TSS 02-Des (mg/L)
3	709034	9164760	51	35	65	44	67	64
4	709096	9165280	52	31	62	33	49	63
5	709089	9165830	11	25	65	12	41	50
6	709000	9166440	7	25	54	9	32	47
7	708852	9167030	7	30	48	6	28	49
8	708685	9167590	6	25	50	2	26	47
9	708423	9168100	6	30	49	4	33	46
10	708066	9168530	8	31	60	0	29	38
11	708506	9168880	7	26	38	1	16	36
12	709033	9168870	5	29	27	2	15	32
13	709449	9168580	4	23	32	9	15	33
14	709692	9168200	4	27	34	8	16	32
15	709778	9167650	5	29	33	7	16	28
16	709999	9167120	5	24	36	7	21	30
17	710105	9166580	9	26	34	7	20	25
18	710239	9165440	6	28	34	10	25	30
19	710254	9165250	7	21	36	10	23	32
20	710221	9164590	6	25	38	11	22	32
21	709967	9164060	7	31	65	10	59	53
22	709586	9163610	19	35	75	31	75	70
23	708986	9163270	32	41	63	47	69	69
24	708870	9162900	56	40	61	58	73	68
25	709318	9162710	56	42	71	56	77	71
26	709783	9162490	46	24	34	25	29	30
27	709983	9162120	38	37	74	47	73	62
28	709662	9161820	83	39	74	63	75	64

Berdasarkan nilai TSS pada tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai TSS tidak selalu terjadi peningkatan, namun juga mengalami penurunan seperti pada beberapa titik sampel pengamatan. Penurunan dan peningkatan nilai TSS tersebut dapat dilihat lebih jelas pada grafik berikut :

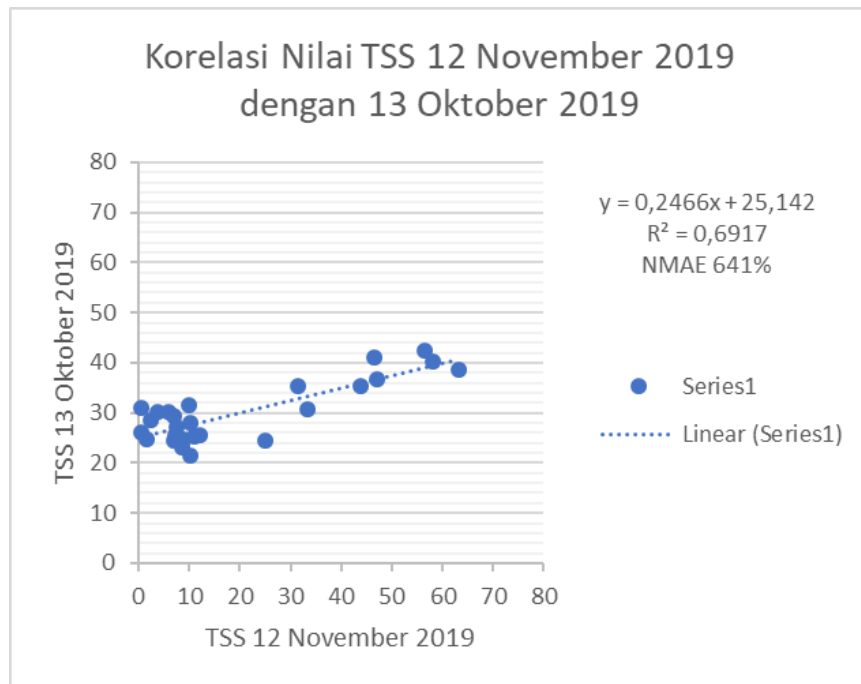


Grafik 4. 11 Nilai TSS Multitemporal Perairan Muara Sungai Porong

Pada grafik 4.11 dapat dilihat bahwa nilai TSS yang paling tinggi adalah pada tanggal 22 November 2019 yaitu mencapai 75 mg/L pada titik pengamatan nomor 28, sedangkan nilai TSS terendah pada tanggal 12 November 2019 yaitu 0 mg/L pada titik pengamatan nomor 10.

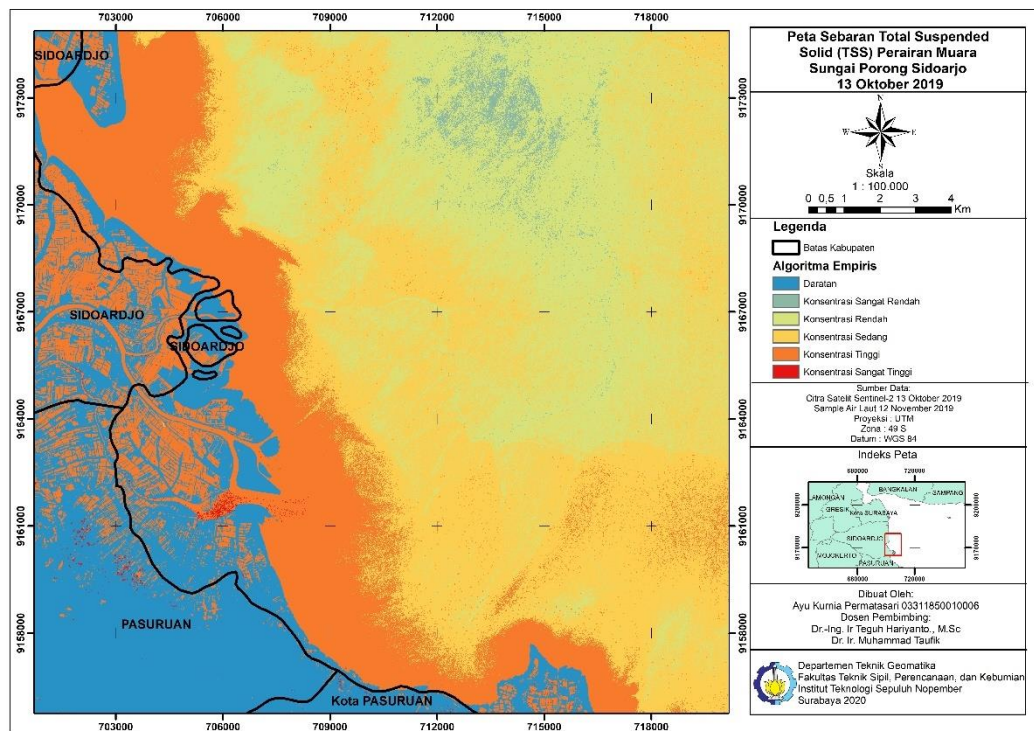
4.9.1 Perbandingan hasil TSS 12 November 2019 dengan 13 Oktober 2019

Dari pengolahan penerapan algoritma empiris dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 pada tanggal 12 November dan 13 Oktober didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,6917. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Empiris di tanggal 12 November 2019 dan 13 Oktober 2019 dianggap memiliki hubungan korelasi yang kuat. Pada grafik 4.12 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari pengolahan algoritma empiris pada tanggal 12 November dan 13 Oktober dan nilai TSS yang didapat dari Algoritma Empiris mencapai 641%.



Grafik 4. 12 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris pada 12 November 2019 dan 13 Oktober 2019

Berikut adalah hasil dari klasifikasi sebaran total suspended solid menggunakan algoritma empiris pada tanggal 13 Oktober 2019 menggunakan klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004:

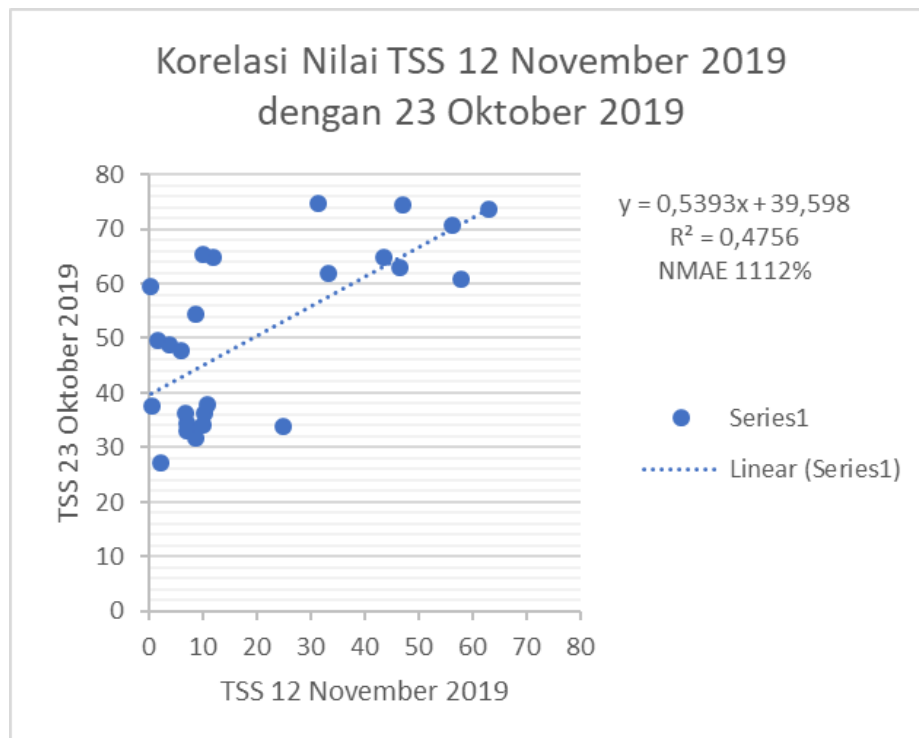


Gambar 4. 9 Peta Sebaran TSS 13 Oktober 2019

Berdasarkan 5 (lima) klasifikasi tingkat konsentrasi, yaitu sangat tinggi, tinggi, cukup, rendah, dan sangat rendah. Hasil klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004 dari pengolahan menggunakan Algoritma Empiris pada tanggal 13 Oktober 2019, terdapat tingkat konsentrasi sangat tinggi di area Muara Kali Porong. Terdapat konsentrasi tinggi di sekitar tepi laut, semakin ke tengah laut maka tingkat konsentrasinya semakin rendah.

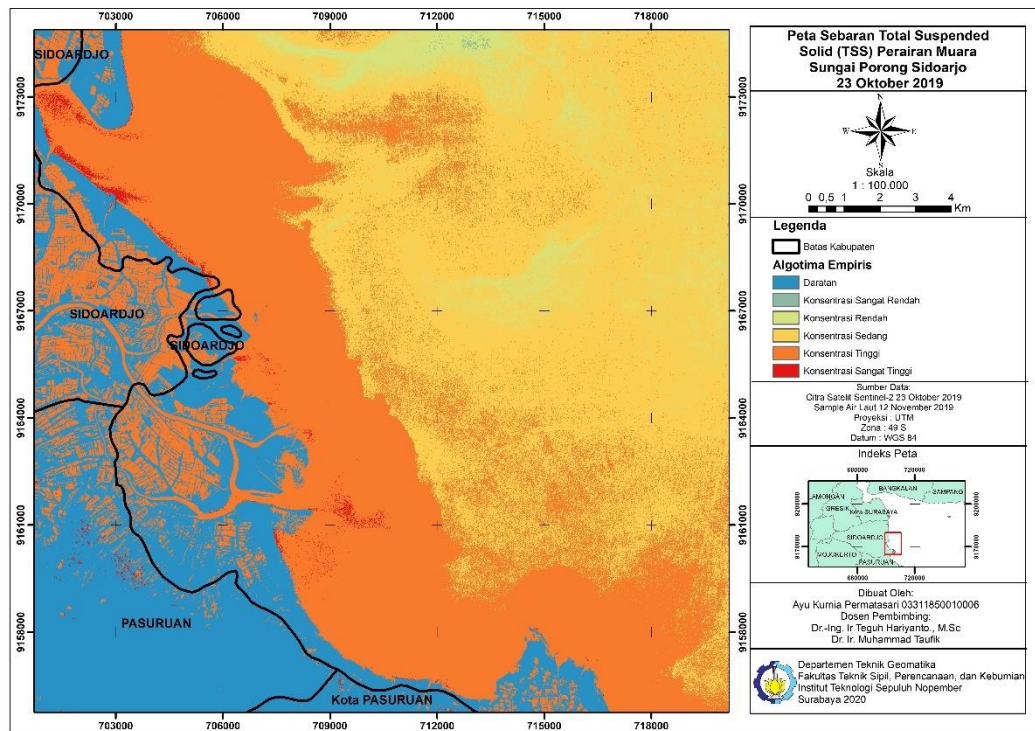
4.9.2 Perbandingan hasil TSS 12 November 2019 dengan 23 Oktober 2019

Dari pengolahan penerapan algoritma empiris dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 pada tanggal 12 November dan 23 Oktober didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,4756. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Empiris di tanggal 12 November 2019 dan 13 Oktober 2019 dianggap memiliki hubungan korelasi cukup. Pada grafik 4.13 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari pengolahan algoritma empiris pada tanggal 12 November dan 13 Oktober dan nilai TSS yang didapat dari Algoritma Empiris mencapai 1112%.



Grafik 4. 13 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris pada 12 November 2019 dan 23 Oktober 2019

Berikut adalah hasil dari klasifikasi sebaran *total suspended solid* menggunakan algoritma empiris pada tanggal 23 Oktober 2019 menggunakan klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004:



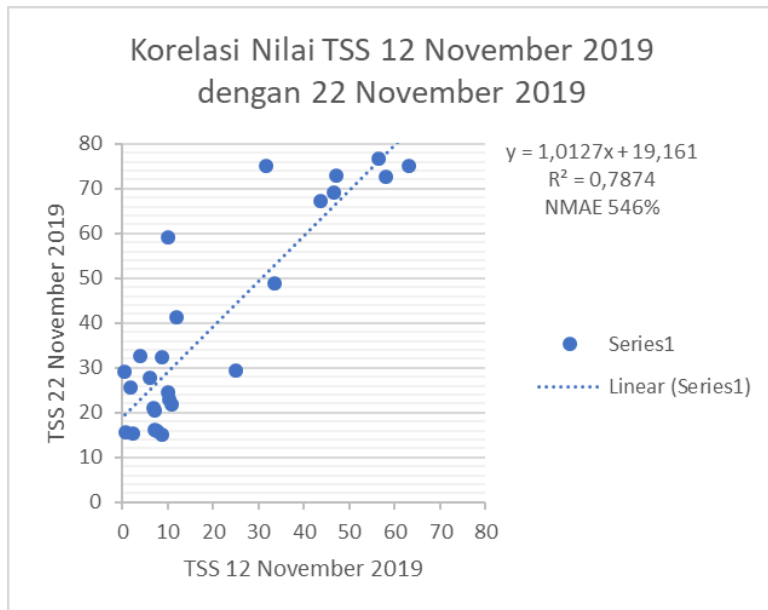
Gambar 4. 10 Peta Sebaran TSS 23 Oktober 2019

Berdasarkan 5 (lima) klasifikasi tingkat konsentrasi, yaitu sangat tinggi, tinggi, cukup, rendah, dan sangat rendah. Hasil klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004 dari pengolahan menggunakan Algoritma Empiris pada tanggal 23 Oktober 2019, terdapat tingkat konsentrasi sangat tinggi sangat sedikit di sekitar tepi laut. Terdapat konsentrasi tinggi di sekitar tepi laut, semakin ke tengah laut maka tingkat konsentrasinya semakin rendah.

4.9.3 Perbandingan hasil TSS 12 November 2019 dengan 22 November 2019

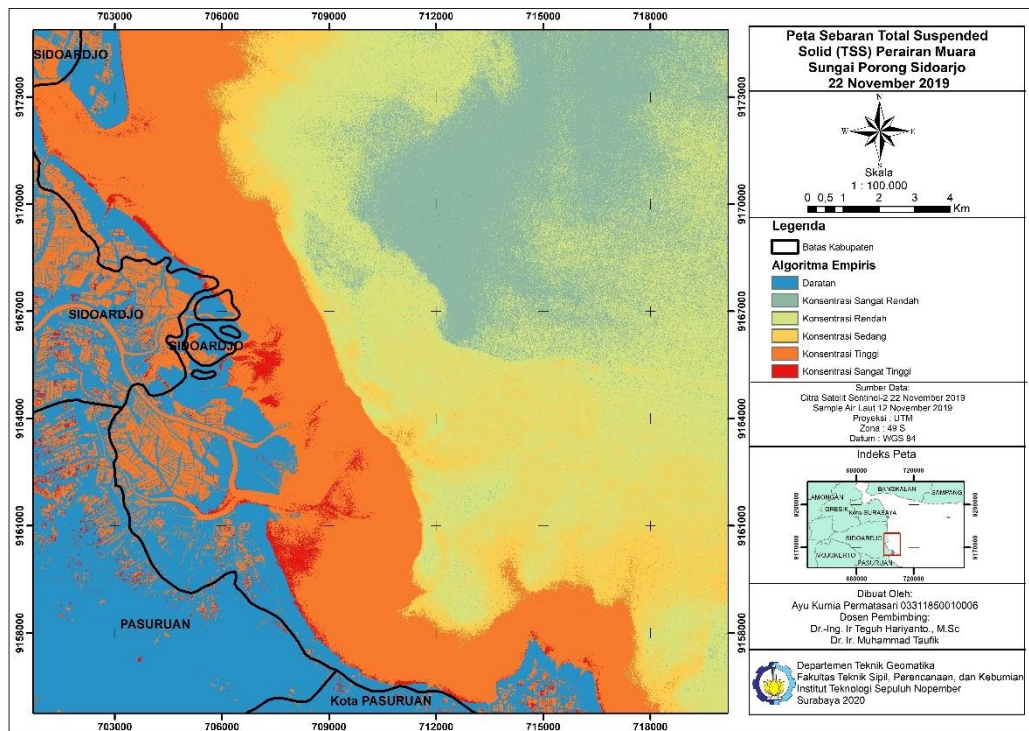
Dari pengolahan penerapan algoritma empiris dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 pada tanggal 12 November dan 22 November didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,7874. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Empiris di tanggal 12 November 2019 dan 22 November 2019 dianggap memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat. Pada grafik 4.14 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang

didapat dari pengolahan algoritma empiris pada tanggal 12 November dan 22 November dan nilai TSS yang didapat dari Algoritma Empiris mencapai 546%.



Grafik 4. 14 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris pada 12 November 2019 dan 23 Oktober 2019

Berikut adalah hasil dari klasifikasi sebaran *total suspended solid* menggunakan algoritma empiris pada tanggal 22 November 2019 menggunakan klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004:

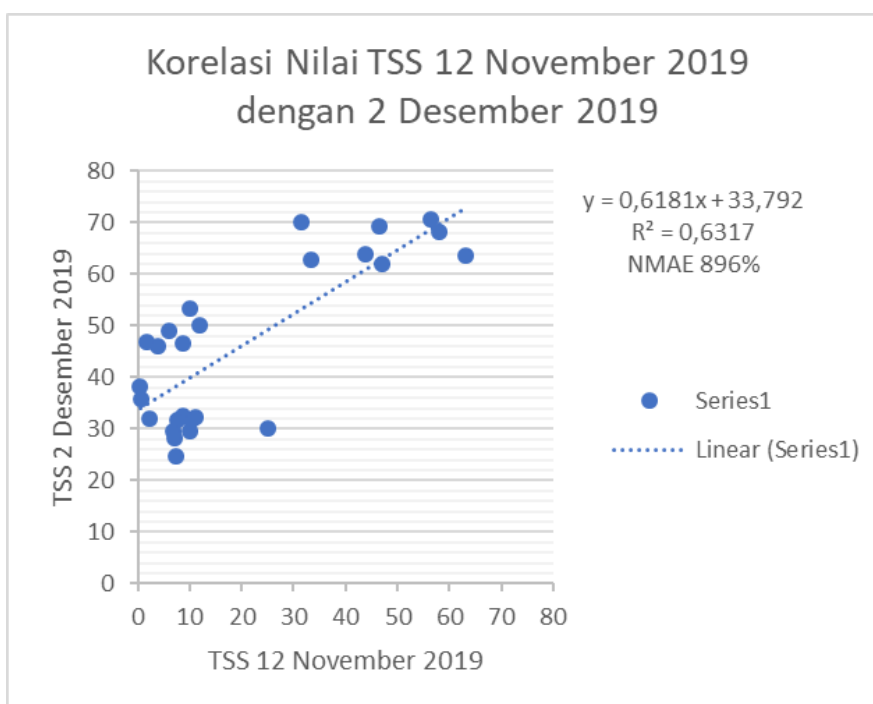


Gambar 4. 11 Peta Sebaran TSS 22 November 2019

Berdasarkan 5 (lima) klasifikasi tingkat konsentrasi, yaitu sangat tinggi, tinggi, cukup, rendah, dan sangat rendah. Hasil klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004 dari pengolahan menggunakan Algoritma Empiris pada tanggal 22 November 2019, terdapat tingkat konsentrasi sangat tinggi sangat sedikit di sekitar tepi laut. Terdapat konsentrasi tinggi di sekitar tepi laut, semakin ke tengah laut maka tingkat konsentrasinya semakin rendah.

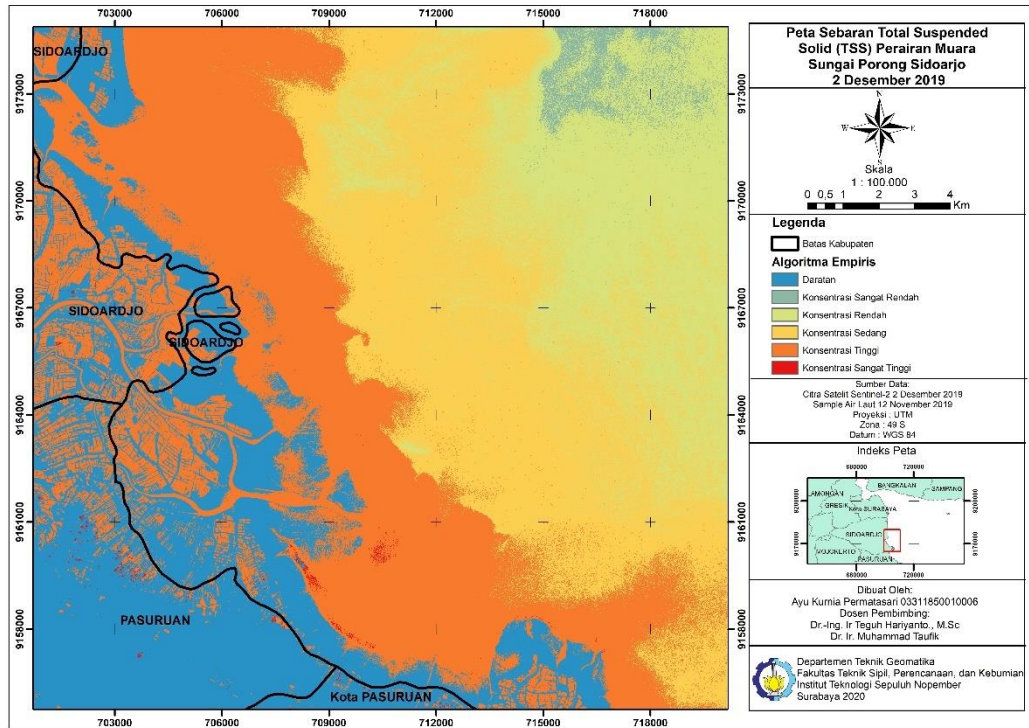
4.9.4 Perbandingan hasil TSS 12 November 2019 dengan 2 Desember 2019

Dari pengolahan penerapan algoritma empiris dan pengolahan data Citra Satelit Sentinel-2 Tahun 2019 pada tanggal 12 November dan 2 Desember didapatkan hasil koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,6317. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengolahan citra satelit menggunakan Algoritma Empiris di tanggal 12 November 2019 dan 2 Desember 2019 dianggap memiliki hubungan korelasi yang kuat. Pada grafik 4.15 menunjukkan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari pengolahan algoritma empiris pada tanggal 12 November dan 2 Desember dan nilai TSS yang didapat dari Algoritma Empiris mencapai 896%.



Grafik 4. 15 Korelasi Nilai TSS Menggunakan Algoritma Empiris pada 12 November 2019 dan 23 Oktober 2019

Berikut adalah hasil dari klasifikasi sebaran *total suspended solid* menggunakan algoritma empiris pada tanggal 2 Desember 2019 menggunakan klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004:



Gambar 4. 12 Peta Sebaran TSS 2 Desember 2019

Berdasarkan 5 (lima) klasifikasi tingkat konsentrasi, yaitu sangat tinggi, tinggi, cukup, rendah, dan sangat rendah. Hasil klasifikasi berdasarkan Keputusan Menteri Negara No. 51 Tahun 2004 dari pengolahan menggunakan Algoritma Empiris pada tanggal 2 Desember 2019, terdapat tingkat konsentrasi sangat tinggi sangat sedikit di sekitar muara. Terdapat konsentrasi tinggi di sekitar tepi laut, semakin ke tengah laut maka tingkat konsentrasinya semakin rendah.

Berdasarkan hasil pengolahan yang dapat dilihat pada grafik 12, 13, 14 dan 15 dapat dilihat bahwa pada tanggal 22 November 2019 memiliki nilai korelasi yang paling tinggi dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,7874. Hal tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara nilai TSS pada tanggal 12 November 2019 dengan nilai TSS pada tanggal 22 November 2019 yang paling baik dibandingkan dengan 3 waktu lain yang digunakan dengan nilai $0,75 < R^2 \leq 0,99$ atau bisa disebut korelasi sangat kuat.

Berdasarkan hasil pengolahan yang dapat dilihat pada grafik 12, 13, 14 dan 15 dapat dilihat bahwa akurasi nilai estimasi TSS yang didapat berkisar 500-1000%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk membuat algoritma empiris yang benar benar dapat menginterpretasikan kondisi sedimentasi pada lokasi penelitian, tidak bisa hanya mengambil sample sekedar satu hari melainkan harus memperbanyak titik sample dengan kondisi fisik area *in situ* yang berbeda beda.

4.10 Analisa

4.10.1 Analisa Penerapan Algoritma

Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini ada 3 (tiga) yaitu Algoritma Parwati (2014), Algoritma Laili (2015) dan Algoritma Jaelani (2016). Hasil dari pengolahan uji korelasi bahwa Algoritma Laili (2015) memiliki nilai korelasi yang paling tinggi dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,8622. Hal tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara nilai TSS data citra dengan TSS data In Situ yang paling baik apabila dibandingkan dengan 2 algoritma lain yang digunakan dengan nilai $0,75 < R^2 \leq 0,99$ atau bisa disebut korelasi sangat kuat (Sarwono, 2006).

Hasil dari pengolahan uji validasi akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Parwati (2014) dan nilai TSS lapangan mencapai 41%, Algoritma Laili (2015) dan nilai TSS lapangan mencapai 98% dan Algoritma Jaelani (2016) dan nilai TSS lapangan mencapai 87% yang berarti hasil TSS dari algoritma Parwati (2014) yang paling baik diantara 2 algoritma yang lain tetapi hasil akurasi tersebut melewati teloransi error yaitu 30%, maka dari 3 algoritma tersebut tidak sesuai dengan hasil TSS lapangan Perairan Muara Sungai Porong Sidoarjo.

Dari hubungan tersebut dijelaskan bahwa sebagian besar TSS di lapangan dapat dijelaskan oleh citra. Untuk perhitungan TSS menggunakan algoritma lainnya memiliki perbedaan yang cukup menonjol antara citra dan data lapangan hal ini dapat disebabkan karena perbedaan waktu perekaman citra dan waktu pengambilan data insitu, pengaruh radiometric dan perbedaan karakteristik perairan studi algoritma TSS dan perairan Sidoarjo (Indeswari, 2017).

4.10.2 Analisa Algoritma Empiris

Pemodelan algoritma menggunakan model regresi linear dengan nilai konsentrasi TSS in-situ dan nilai remote sensing reflektan ($Rrs(\lambda)$) yang telah terkoreksi atmosfer sebagai masukan. Pemodelan ini dibuat dengan menggunakan model regresi dengan kanal tunggal, rasio dua kanal maupun kombinasi rasio kanal dari kanal 2, 3 dan 4. Pada pemodelan algoritma ini menggunakan validasi $R^2 > 0,5$ dan yang digunakan adalah korelasi yang paling tinggi (Kurniadin, 2016).

Pada pemodelan algoritma ini dari pengolahan kanal tunggal, rasio dua kanal dan kombinasi rasio kanal maka didapatkan nilai R^2 tertinggi adalah pada rasio kanal 2 dan kanal 4 (λ_2 / λ_4) dengan nilai $R^2 = 0,881$.

4.10.3 Analisa Perbandingan Hasil Algoritma Empiris dengan Algoritma yang Sudah Ada

Hasil dari perbandingan beberapa algoritma, Algoritma Laili (2015) memiliki nilai korelasi yang paling tinggi dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,993. Hal tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara nilai TSS menggunakan algoritma empiris dengan TSS menggunakan algoritma Laili yang paling baik apabila dibandingkan dengan 2 algoritma lain yang digunakan dengan nilai $R^2 = 0,993$ atau bisa disebut korelasi sangat kuat (Sarwono, 2006).

Algoritma Laili (2015) memiliki korelasi terbaik dimungkinkan karena algoritma empiris dengan algoritma Laili menggunakan model algoritma yang sama, yaitu model regresi linier rasio kanal 2 dan kanal 4 (λ_2 / λ_4), sehingga dapat menghasilkan koefisien korelasi yang sangat kuat.

Hasil akurasi algoritma empiris dengan algoritma Parwati mencapai 35%, hasil akurasi algoritma empiris dengan algoritma Laili mencapai 76% dan hasil akurasi algoritma empiris dengan algoritma Jaelani mencapai 71%. Dapat disimpulkan bahwa akurasi nilai estimasi TSS yang didapat dari Algoritma Empiris, tidak ada algoritma yang masuk dalam toleransi nilai absolut eror sebesar $\leq 30\%$ (Jaelani, 2016).

4.10.4 Analisa Pengolahan Citra Satelit Multitemporal

Hasil pengolahan dapat dilihat bahwa pada tanggal 22 November 2019 memiliki nilai korelasi yang paling tinggi dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar

0,7874. Hasil pengolahan akurasi nilai estimasi TSS yang didapat berkisar 500-1000%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk membuat algoritma empiris yang benar benar dapat menginterpretasikan kondisi sedimentasi pada lokasi penelitian, tidak bisa hanya mengambil sample sekedar satu hari melainkan harus memperbanyak titik sample dengan kondisi fisik area *in situ* yang berbeda beda.

Sehingga idealnya dalam pembuatan algoritma empiris dibutuhkan pengambilan sample pada tiap kondisi fisik yang berbeda pada lokasi penelitian, agar mendapatkan algoritma empiris yang baik dalam menginterpretasikan sedimentasi di lokasi penelitian yang sesungguhnya.

4.10.5 Analisa Sedimentasi di Muara Kali Porong

Sebaran TSS tertinggi berada di perairan yang sangat dekat muara karena dipengaruhi oleh pembuangan lumpur lapindo yang terbawa oleh arus laut yang membawa partikel TSS dari kali Porong. TSS yang berasal dari kali Porong yang merupakan buangan dari lumpur lapindo terbawa arus ke arah laut melalui perairan antara kedua pulau dan bahkan sudah ada yang terbentuk pulau baru yaitu Pulau LUSI (Lumpur Sidoarjo).

Setelah dilakukan pengamatan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa meskipun volume semburan lumpur sudah berkurang yang berdampak terhadap berkurangnya material lumpur yang dibuang ke Kali Porong, namun hal ini tetap memberikan dampak buruk terhadap nilai TSS di Kali Porong sampai ke muara dan sekitarnya. Hal ini diakibatkan karena material yang dibuang ke Kali Porong tersebut adalah sedimen berat yang jika dibuang ke Kali Porong dan terbawa oleh arus air akan membuat air keruh, terjadi sedimentasi di sekitaran sungai, dan efek yang sangat terlihat adalah pendangkalan di muara Kali Porong. Hal ini berakibat pada kapal perahu nelayan tidak dapat keluar masuk ke muara menuju laut ataupun sebaliknya dengan leluasa. Lokasi tersebut hanya dapat dilalui jika air laut sedang pasang tinggi. Sedangkan di daerah sekitaran pembuangan lumpur, ditemukan daratan-daratan yang muncul di atas permukaan air di Kali Porong. Hal ini tentu saja merupakan dampak dari aktifitas pembuangan lumpur ke Kali Porong yang mengakibatkan terjadinya sedimentasi (Krisna, 2013).

Daerah yang terkena dampak paling besar adalah di muara Kali Porong karena merupakan tempat bertemunya aliran sungai dan laut (gelombang dan arus)

sehingga ada banyak material TSS yang terkonsentrasi di daerah tersebut. Pantai Pasuruan merupakan salah satu dampaknya karena pergerakan TSS cenderung ke arah Pasuruan dan terdapat daratan yang menjorok ke dalam daratan di antara Kali Porong dan Pasuruan hal ini mengakibatkan material TSS terkonsentrasi di daerah tersebut karena pengaruh arus dan gelombang, muara Kali Alo (Kali Alo adalah anak sungai Kali Porong) sehingga material lumpur juga mengalir ke Kali Alo dan di sebelah utara Kali Alo terdapat daratan yang menjorok ke dalam daratan sehingga material TSS terkonsentrasi di tempat tersebut karena pengaruh arus dan gelombang. Daerah-daerah tersebut perlu diperlakukan secara khusus untuk mencegah atau mengurangi dampak sebaran TSS karena jika dibiarkan terus-menerus akan menghasilkan sedimentasi (Budianto, 2016).

4.10.6 Analisa Terhadap Faktor yang Mempengaruhi Sebaran TSS

Dari pengolahan citra satelit multi temporaal dapat dilihat bahwa konsentrasi TSS tiap waktunya berubah-ubah. Daerah yang terkena dampak paling besar adalah di sekitar muara Kali Porong atau di dekat daratan, karena merupakan tempat bertemunya aliran sungai dan laut (gelombang dan arus) sehingga ada banyak material TSS yang terkonsentrasi di daerah tersebut

Fluktuasi yang terjadi pada nilai TSS dapat disebabkan oleh :

- Musim

Perekaman waktu yang berbeda berpengaruh pada berbedanya musim (*season*) yang terjadi di pesisir Sidoarjo-Pasuruan. Berdasarkan data BMG stasiun Tanjung Perak musim timur (kemarau) terjadi dominan pada bulan Mei hingga Oktober, sedangkan musim penghujan dominan terjadi pada bulan Nopember – Maret. Sedangkan pancaroba terjadi sekitar bulan April dan Desember. Pergerakan lumpur ini cenderung diendapkan ke arah utara oleh dinamika arus dari arah tenggara Kali Porong (Pasuruan) pada musim timur, Sedangkan pada musim barat perairan ini relatif tenang sehingga diperkirakan sebagian sedimen lumpur tersebut cenderung diendapkan di daerah estuari dan sekitarnya (Krisna, 2013).

- Pasang surut air laut, arus, dan angin.

Laju aliran air laut merupakan faktor utama dalam perubahan konsentrasi TSS. Air yang mengalir cepat membawa partikel dan sedimen

yang lebih besar. Bila terjadi hujan lebat, pasir, lumpur, tanah liat, dan partikel organik lain dapat terbawa dari daratan ke laut.

Pasang surut mempengaruhi sebaran sedimen. Jika kondisi pasang maka distribusi air akan terjadi dari laut menuju sungai sehingga distribusi sedimen tersuspensi juga mengalir dari laut menuju sungai, sedangkan jika kondisi surut maka akan terjadi aliran air dari sungai ke laut, sehingga material-material dan sedimen tersuspensi juga akan mengalir dari sungai menuju laut.

Jika dilihat dampak pengaruh pasang-surut terhadap wilayah pesisir atau wilayah laut, maka jika terjadi surut maka nilai TSS di wilayah tersebut akan mengalami kenaikan yang diakibatkan oleh air yang ada di sungai mengalir ke arah laut. Begitu pula sebaliknya jika terjadi pasang, maka nilai TSS di wilayah pesisir atau wilayah laut akan cenderung berkurang. Hal ini diakibatkan oleh air yang bergerak dari laut masuk ke sungai jika terjadi pasang. Jadi dapat disimpulkan bahwa kondisi pasang surut mempengaruhi konsentrasi TSS di wilayah tersebut (Krisna, 2013).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil validasi algoritma konsentrasi TSS yang telah ada dengan menggunakan data in-situ dan data nilai $Rrs(\lambda)$ dapat diaplikasikan di perairan Muara Kali Porong. Algoritma TSS Parwati dengan nilai NMAE 41%, diperoleh nilai pendugaan TSS berkisar antara 7 mg/L sampai 18 mg/L. Algoritma TSS Laili dengan nilai NMAE 98%, diperoleh nilai pendugaan TSS berkisar antara 13 mg/L sampai 19 mg/L. Algoritma TSS Jaelani dengan nilai NMAE 87%, diperoleh nilai pendugaan TSS 1 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa dari tiga algoritma tersebut tidak dapat diaplikasikan di perairan Muara Kali Porong.
2. Pemodelan algoritma empiris yang sesuai untuk pendugaan konsentrasi TSS di perairan Muara Kali Porong dengan nilai konsentrasi TSS *in-situ* dan nilai $Rrs(\lambda)$ terkoreksi atmosfer sebagai masukan, diperoleh algoritma terbaik dengan model regresi linier rasio kanal biru (λ_2) dan kanal merah (λ_4) dengan nilai koefisien koefisien $R^2 = 0,881$. Persamaan algoritma empiris tersebut adalah $TSS \text{ (mg/L)} = 316.9 * \left(\frac{\log(Rrs(\lambda_2))}{\log(Rrs(\lambda_4))} \right) - 255.64$.
3. Hasil dari perbandingan perhitungan nilai TSS menggunakan algoritma empiris dengan algoritma yang sudah ada, dapat disimpulkan bahwa korelasi nilai TSS Algoritma Empiris dengan Algoritma Laili (2015) memiliki nilai korelasi yang paling tinggi dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,993 atau bisa dikatakan korelasi sangat kuat. Hal ini terjadi dimungkinkan karena algoritma empiris dengan algoritma Laili menggunakan model algoritma yang sama, yaitu model regresi linier rasio kanal 2 dan kanal 4 (λ_2 / λ_4), sehingga dapat menghasilkan koefisien korelasi yang sangat kuat.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diajukan untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut:

1. Diharapkan untuk untuk mengambil sampel air dengan kondisi fisik yang berbeda agar dapat menghasilkan algoritma empiris yang lebih akurat.
2. Memperhatikan perubahan pasang surut air laut, angin, dan faktor-faktor lain yang dapat menyebabkan perbedaan hasil nilai TSS citra dan TSS lapangan
3. Pembuatan algoritma empiris seharusnya dibuat dari nilai TSS in-situ dan nilai reflektan yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan menggunakan Field Spectroradiometer, sehingga algoritma yang diperoleh lebih baik.
4. Dilakukan penanganan lebih lanjut dalam menangani peningkatan konsentrasi TSS di Perairan Muara Sungai Porong, terlebih lagi yang disebabkan oleh limbah perumahan ataupun industri, karena banyak hewan laut seperti hiu paus, dan ikan-ikan lainnya yang hidup di perairan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguirre-Gomez, R. (2000). Detection of Total Suspended Sediments in the North Sea using AVHRR and Ship Data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(8), 1583–1596. <http://doi.org/10.1080/014311600209913>
- Altunkaynak, A., & Wang, K. (2011). A Comparative Study of Hydrodynamic Model and Expert System Related Models for Prediction of Total Suspended Solids Concentrations in Apalachicola Bay. *Journal of Hydrology*, 400, 353– 363. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.046>
- Barret, R. B., & Curtis, L. F. (1982). *Introduction to Environmental Remote Sensing*. London: Chapman and Hall.
- Binding, C. E., dkk. (2005). Estimating Suspended Sediment Concentrations from Ocean Colour Measurements in Moderately Turbid Waters; The Impact of Variable Particle Scattering Properties. *Remote Sensing of Environment*, 94(3), 373–383. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.002>
- Budhiman, S. (2004). *Mapping TSM Concentrations From Multi Sensor Satellite Images in Turbid Tropical Coastal Waters of Mahakam Delta Indonesia*, Enschede: MSc Thesis ITC Enschede, The Netherlands.
- Budhiman , S, dan Parwati, Ety. 2014. Simulasi nilai reflektansi penginderaan jauh (remote sensing reflectance) parameter kualitas perairan menggunakan perangkat lunak WASI. Vol. V No. 7 Juli 2014. LAPAN : Jakarta.
- Budianto, S. (2016). Analisis Perubahan Konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) Dampak Bencana Lumpur Sidoarjo Menggunakan Citra Landsat Multitemporal. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tersedia di <http://repository.its.ac.id/>.
- Danoedoro, P. (1996). *Pengolahan Citra Digital Teori dan Aplikasinya dalam Bidang Penginderaan Jauh*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Hasyim, B. (1997). *Optimasi Penggunaan Data Inderaja dan Sistem Informasi Geografi untuk Pengawasan Kualitas Lingkungan Pantai akibat Limbah Industri*. Jakarta: Dewan Riset Nasional. Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi.

- Indeswari, L. (2017). Pemetaan Persebaran Total Suspended Solid (TSS) Dengan Memanfaatkan Citra Satelit Landsat Multitemporal Dan Data In Situ (Studi Kasus : Perairan Muara Sungai Porong, Sidoarjo). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tersedia di <http://repository.its.ac.id/>.
- Jaelani, L.M., Matsuhita, B., Yang W., dan Fukushima T. 2013. — Evaluation of four MERIS Atmospheric Correction Algorithm in Lake Kasumigaura, Japan. *International Journal of Remote Sensing*. Taylor & Francis: 8967 – 85. doi:10.1080/01431161.2013.860660.
- Jaelani, L. M., Setiawan, F., & Matsushita, B. (2015). Uji Akurasi Produk Reflektan-Permukaan Landsat Menggunakan Data In situ di Danau Kasumigaura, Jepang. dalam Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (pp. 9–16). <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4002.8003>
- Jaelani, L. M., Limehuwey, R., Kurniadin, N., Pamungkas, A., Koenhardono, E. S., & Sulisetyono, A. (2016). Estimation of TSS and Chl - a Concentration from Landsat 8 - OLI: The Effect of Atmosphere and Retrieval Algorithm. *IPTEK, The Journal for Technology and Science*, 27(1), 16–23. Retrieved from <http://www.iptek.its.ac.id/index.php/jts/article/view/1217>
- James B. Campbell. (1987). *Introduction to Remote Sensing*. New York: The Guilford Press.
- Krisna, T. C. (2013). Analisa Sebaran Total Suspended Sediment (TSS) Menggunakan Citra Satelit Aster, Alos, dan Spot-4 Tahun 2005 -2012 (Studi Kasus : Muara Kali Porong dan Sekitarnya). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tersedia di <http://repository.its.ac.id/>.
- Kurniadin, N. (2016). Pemodelan Algoritma Empiris Untuk Pendugaan Konsentrasi Muatan Padatan Tersuspensi Menggunakan Data In-Situ dan Citra Satelit Landsat 8 Di Perairan Gili Iyang Sumenep. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tersedia di <http://repository.its.ac.id/>.
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1990). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Nurahida Laili, L. J. (2015). Development Of Water Quality Parameter Retrieval Algorithms For Estimating Total Suspended Solids And Chlorophyll-a Concentration Using Landsat-8 Imagery at Poteran Island Water. 55-62.
- Nurjati, C., & Handayani, H. H. (2011). Penginderaan Jauh Untuk Estimasi Kandungan TSS di Wilayah Pantai Timur Surabaya Akibat Pembuangan Lumpur Lapindo. dalam Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (pp. 5–16).
- Pahlevi, A. M. (2010). Analisa Sedimentasi di Muara Kali Porong Akibat Pembuangan Lumpur Lapindo Menggunakan Data Citra Aster. Jakarta: Bakosurtanal.
- Parwati, E. 2006. Pemodelan Dinamika. Spasial Pengelolaan Lahan Pesisir. Kabupaten Berau, Kalimantan. Timur Menggunakan Data Penginderaan Jauh
- Parwati, E., & Purwanto, D. (2014). Time Series Analysis of Total Suspended Solid (TSS) Using Landsat Data in Berau Coastal Area Indonesia. International Journal of Remote Sensing and Earth Science Vol.14 No.1.
- Saeni, M.S. (2003). Biologi Air Limbah. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Sari, A.E.M, dkk. (2013). Kualitas Perairan Estuari Porong Sidoarjo Jawa Timur Berdasarkan Indeks Keanekaragaman Makrozoobentos.
- Sarwono, J. (2006). Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif (I). Yogyakarta: Graha Ilmu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DOKUMENTASI PENGAMBILAN SAMPEL TSS



Kondisi di Perairan Muara Kali Porong



Mengarahkan kapal menggunakan GPS Handheld menuju rencana titik survei yang telah ditentukan sebelumnya.



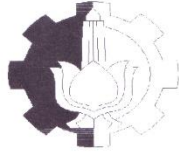
Penulisan posisi koordinat (*landmark*) menggunakan GPS Handheld



Pengambilan sample air laut

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2 HASIL UJI SAMPEL TSS



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA UJI TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS)

Dikirim Oleh : Sdri. Ayu Kurnia
Diterima Tanggal : 13 Nopember 2019
Sampel Dari : Air Laut di Porong

No	Kode Sampel	Hasil analisa TSS (mg/L)	Metoda Analisa
1	S-1	144,00	Gravimetri
2	S-2	290,00	
3	S-3	51,00	
4	S-4	52,00	
5	S-5	11,00	
6	S-6	7,00	
7	S-7	7,00	
8	S-8	6,00	
9	S-9	6,00	
10	S-10	8,00	
11	S-11	7,00	
12	S-12	5,00	
13	S-13	4,00	
14	S-14	4,00	
15	S-15	5,00	
16	S-16	5,00	
17	S-17	9,00	
18	S-18	6,00	
19	S-19	7,00	
20	S-20	6,00	
21	S-21	7,00	
22	S-22	19,00	
23	S-23	32,00	
24	S-24	56,00	
25	S-25	56,00	
26	S-26	46,00	
27	S-27	38,00	
28	S-28	83,00	
29	S-29	518,00	
30	S-30	113,00	
31	S-31	398,00	
32	S-32	290,00	
33	S-33	318,00	
34	S-34	356,00	
35	S-35	334,00	

Surabaya, 13 Nopember 2019
Kepala Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS


Prof. Endang Neka Kamaningroem, MSc
NIP. 195501281985032001

Catatan :
- Laporan ini dibuat untuk contoh air yang diterima laboratorium kami.

Cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid, TSS*)

1.1 TUJUAN

Tujuan dari Instruksi Kerja Cara Uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid, TSS*) secara gravimetri ini adalah untuk memudahkan analisa bagi laboran atau praktikan.

1.2 ACUAN/ REFERENSI

Acuan/ referensi Instruksi Kerja ini adalah :

- SNI 19-17025-2000 tentang Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi, pasal 5.4
- Prosedur uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid, TSS*) secara gravimetri
- Panduan Mutu Metode Pengujian, Metode Kalibrasi dan Validasi Metode

1.3 BAHAN DAN ALAT

Bahan dan alat yang digunakan dalam instruksi kerja uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid, TSS*) secara gravimetri ini antara lain :

1.3.1 Bahan

a) Kertas saring (*glass-fiber filter*) dengan beberapa jenis:

- 1) Whatman Grade 934 AH, dengan ukuran pori (*Particle Retention*) 1,5 μm (*Standar for TSS in water analysis*).
- 2) Gelman type A/E, dengan ukuran pori (*Particle Retention*) 1,0 μm (*Standar filter for TSS/TDS testing in sanitary water analysis procedures*).
- 3) E-D Scientific Specialities grade 161 (VWR brand grade 161) dengan ukuran pori (*Particle Retention*) 1,1 μm (*Recommended for use in TSS/TDS testing in water and wastewater*).
- 4) Saringan dengan ukuran pori 0,45 μm .

b) Air suling.

1.3.2 Peralatan

- a) desikator yang berisi silika gel;
- b) oven, untuk pengoperasian pada suhu 103°C sampai dengan 105°C;
- c) timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg;
- d) pengaduk magnetik;
- e) pipet volum;
- f) gelas ukur;
- g) cawan aluminium;
- h) cawan porselen/cawan *Gooch*;
- i) penjepit;
- j) kaca arloji; dan
- k) pompa vacuum.

1.4 TATACARA/PELAKSANAAN

1.4.1 Persiapan dan pengawetan contoh uji

1.4.1.1 Persiapan contoh uji

Gunakan wadah gelas atau botol plastik polietilen atau yang setara.

1.4.1.2 Pengawetan contoh uji

Awetkan contoh uji pada suhu 4°C, untuk meminimalkan dekomposisi mikrobiologikal terhadap padatan. Contoh uji sebaiknya disimpan tidak lebih dari 24 jam.

1.4.2 Pengurangan gangguan

- a) Pisahkan partikel besar yang mengapung.
- b) Residu yang berlebihan dalam saringan dapat mengering membentuk kerak dan menjebak air, untuk itu batasi contoh uji agar tidak menghasilkan residu lebih dari 200 mg.
- c) Untuk contoh uji yang mengandung padatan terlarut tinggi, bilas residu yang menempel dalam kertas saring untuk memastikan zat yang terlarut telah benar-benar dihilangkan.

- d) Hindari melakukan penyaringan yang lebih lama, sebab untuk mencegah penyumbatan oleh zat koloidal yang terperangkap pada saringan.

1.4.3 Persiapan pengujian

1.4.3.1 Persiapan kertas saring atau cawan *Gooch*

- a) Letakkan kertas saring pada peralatan filtrasi. Pasang vakum dan wadah pencuci dengan air suling berlebih 20 mL. Lanjutkan penyedotan untuk menghilangkan semua sisa air, matikan vakum, dan hentikan pencucian.
- b) Pindahkan kertas saring dari peralatan filtrasi ke wadah timbang aluminium. Jika digunakan cawan *Gooch* dapat langsung dikeringkan..
- c) Keringkan dalam oven pada suhu 103°C sampai dengan 105°C selama 1 jam, dinginkan dalam desikator kemudian timbang.
- d) Ulangi langkah pada butir c) sampai diperoleh berat konstan atau sampai perubahan berat lebih kecil dari 4% terhadap penimbangan sebelumnya atau lebih kecil dari 0,5 mg.

1.4.4 Prosedur

- a) Lakukan penyaringan dengan peralatan vakum. Basahi saringan dengan sedikit air suling.
- b) Aduk contoh uji dengan pengaduk magnetik untuk memperoleh contoh uji yang lebih homogen.
- c) Pipet contoh uji dengan volume tertentu, pada waktu contoh diaduk dengan pengaduk magnetik
- d) Cuci kertas saring atau saringan dengan 3 x 10 mL air suling, biarkan kering sempurna, dan lanjutkan penyaringan dengan vakum selama 3 menit agar diperoleh penyaringan sempurna. Contoh uji dengan padatan terlarut yang tinggi memerlukan pencucian tambahan.
- e) Pindahkan kertas saring secara hati-hati dari peralatan penyaring dan pindahkan ke wadah timbang aluminium sebagai penyangga. Jika digunakan cawan *Gooch* pindahkan cawan dari rangkaian alatnya.
- f) Keringkan dalam oven setidaknya selama 1 jam pada suhu 103°C sampai dengan 105°C, dinginkan dalam desikator untuk menyeimbangkan suhu dan timbang.
- g) Ulangi tahapan pengeringan, pendinginan dalam desikator, dan lakukan penimbangan sampai diperoleh berat konstan atau sampai perubahan berat lebih kecil dari 4% terhadap penimbangan sebelumnya atau lebih kecil dari 0,5 mg.

CATATAN 1 Jika filtrasi sempurna membutuhkan waktu lebih dari 10 menit, perbesar diameter kertas saring atau kurangi volume contoh uji.

CATATAN 2 Ukur volume contoh uji yang menghasilkan berat kering residu 2,5 mg sampai dengan 200 mg. Jika volume yang disaring tidak memenuhi hasil minimum, perbesar volume contoh uji sampai 1000 mL.

1.5 PERHITUNGAN

$$\text{mg TSS per liter} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{Volume contoh uji, mL}}$$

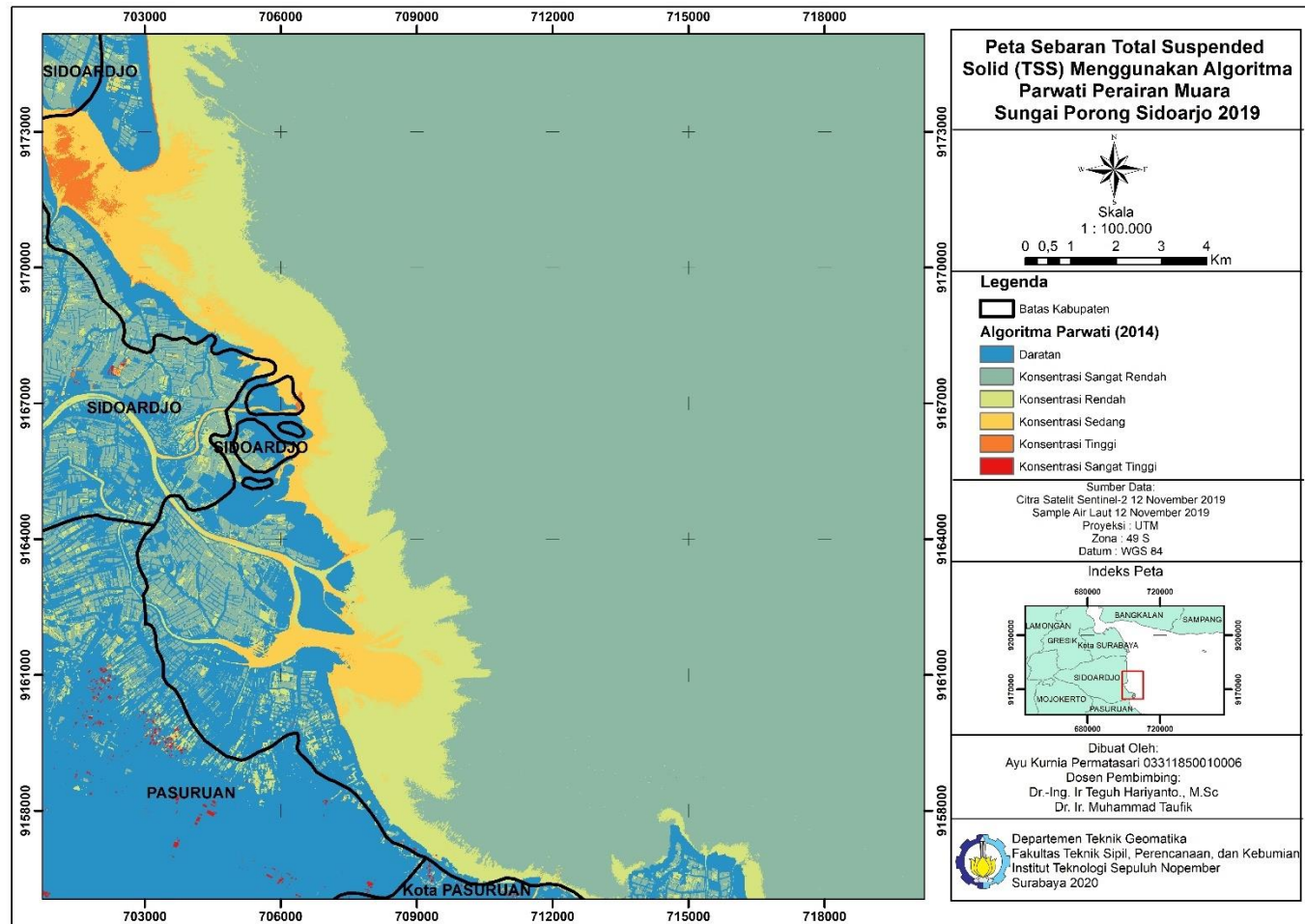
dengan pengertian:

A adalah berat kertas saring + residu kering, mg;

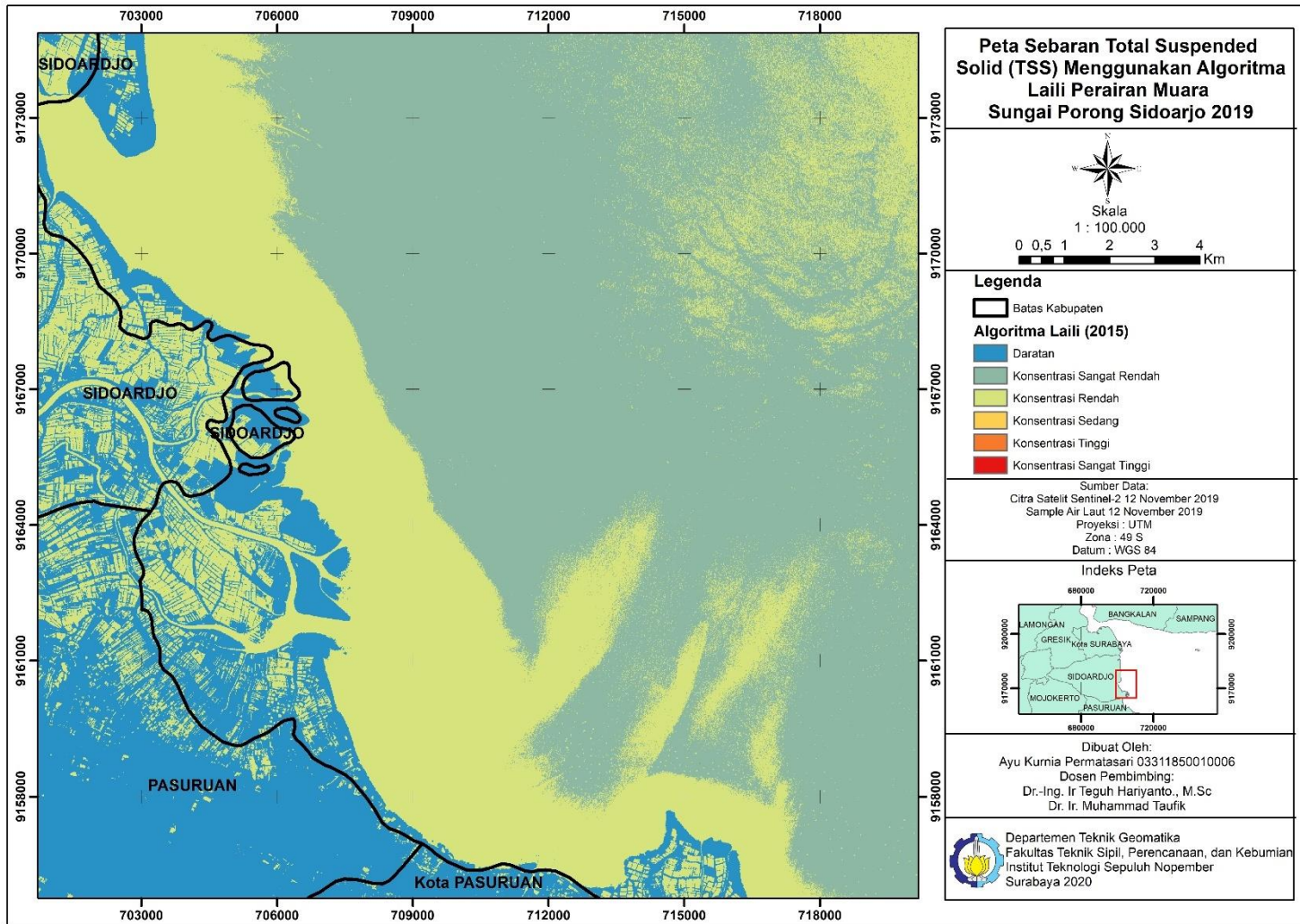
B adalah berat kertas saring, mg.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

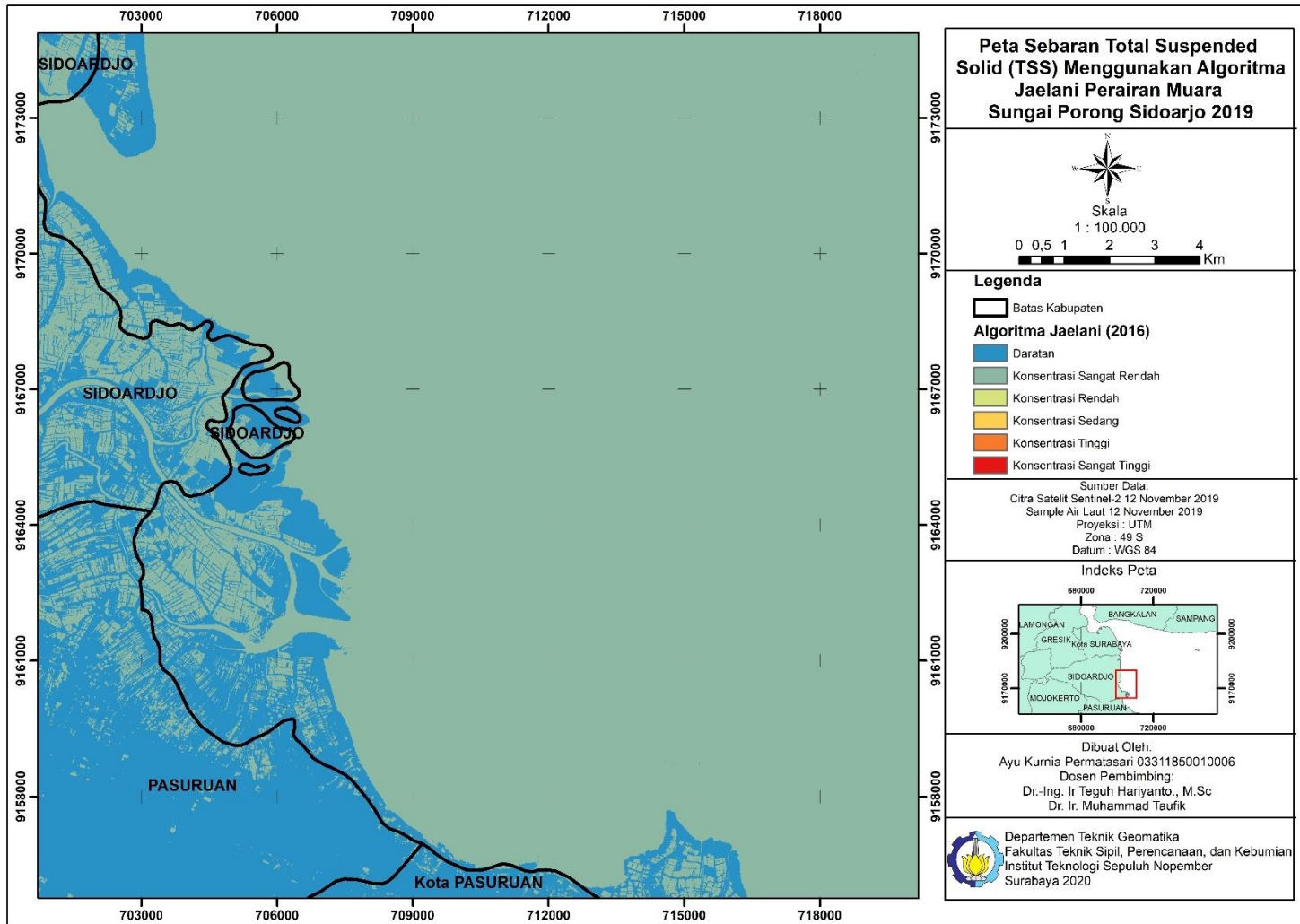
LAMPIRAN 3 HASIL PETA



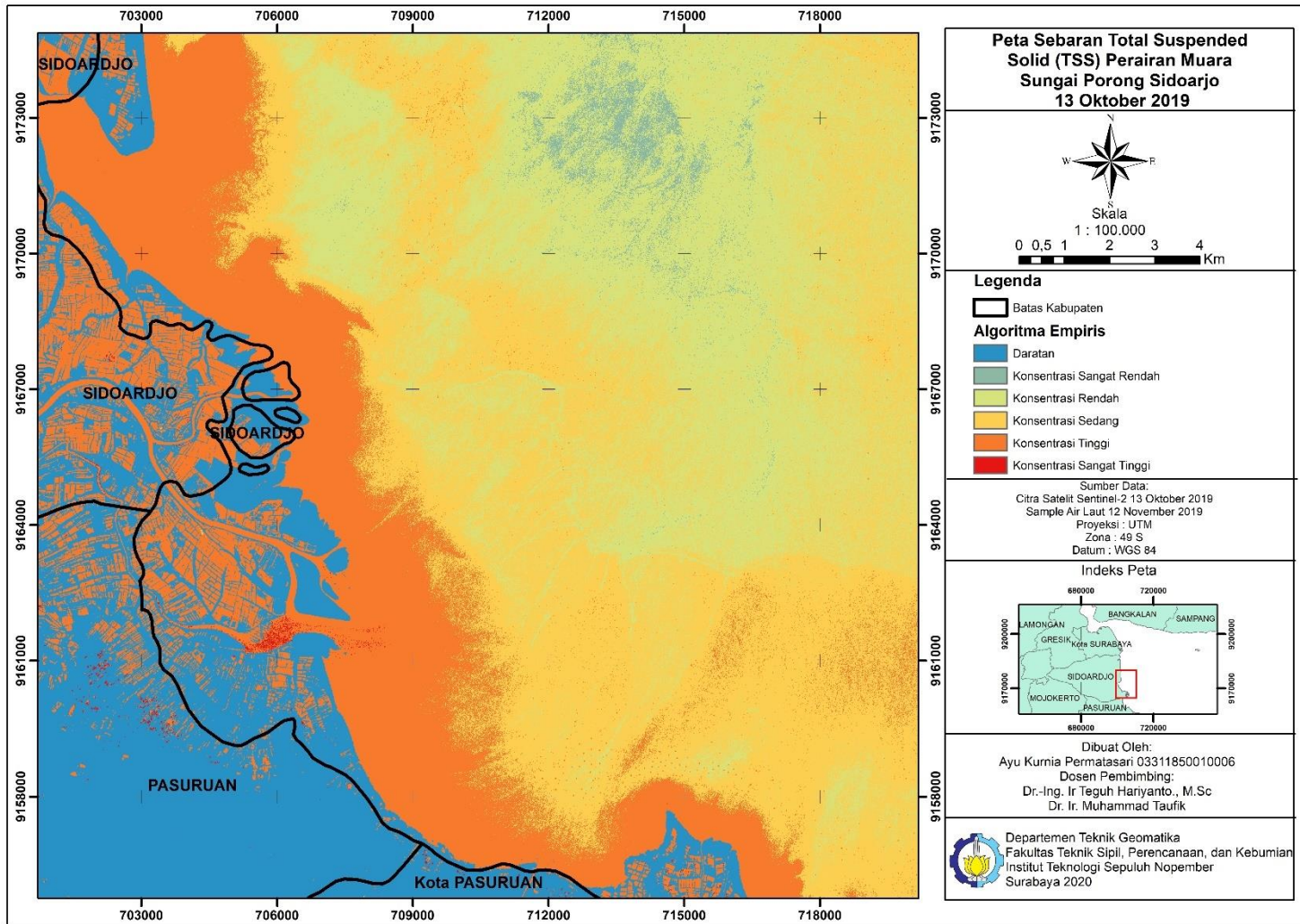
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



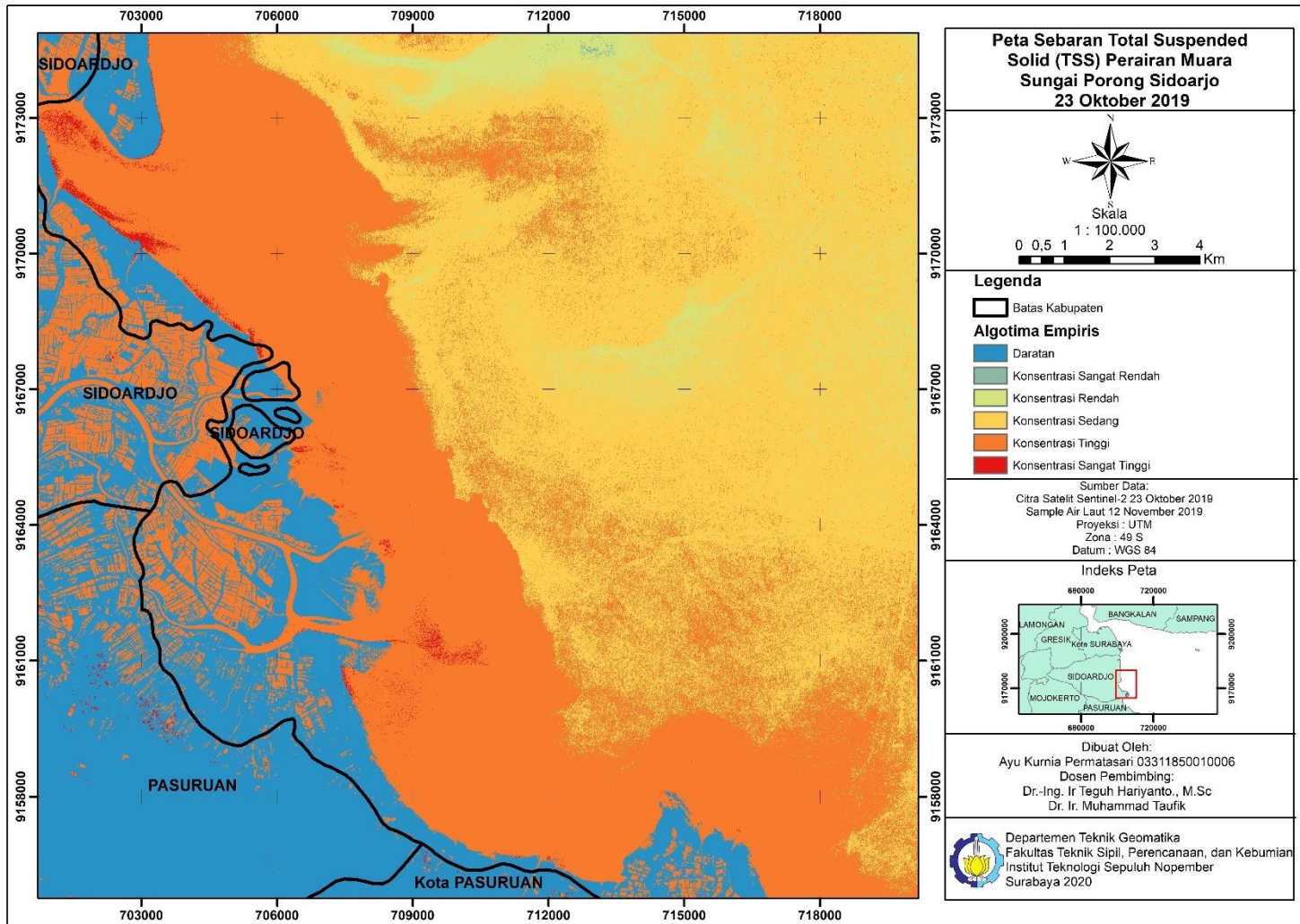
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



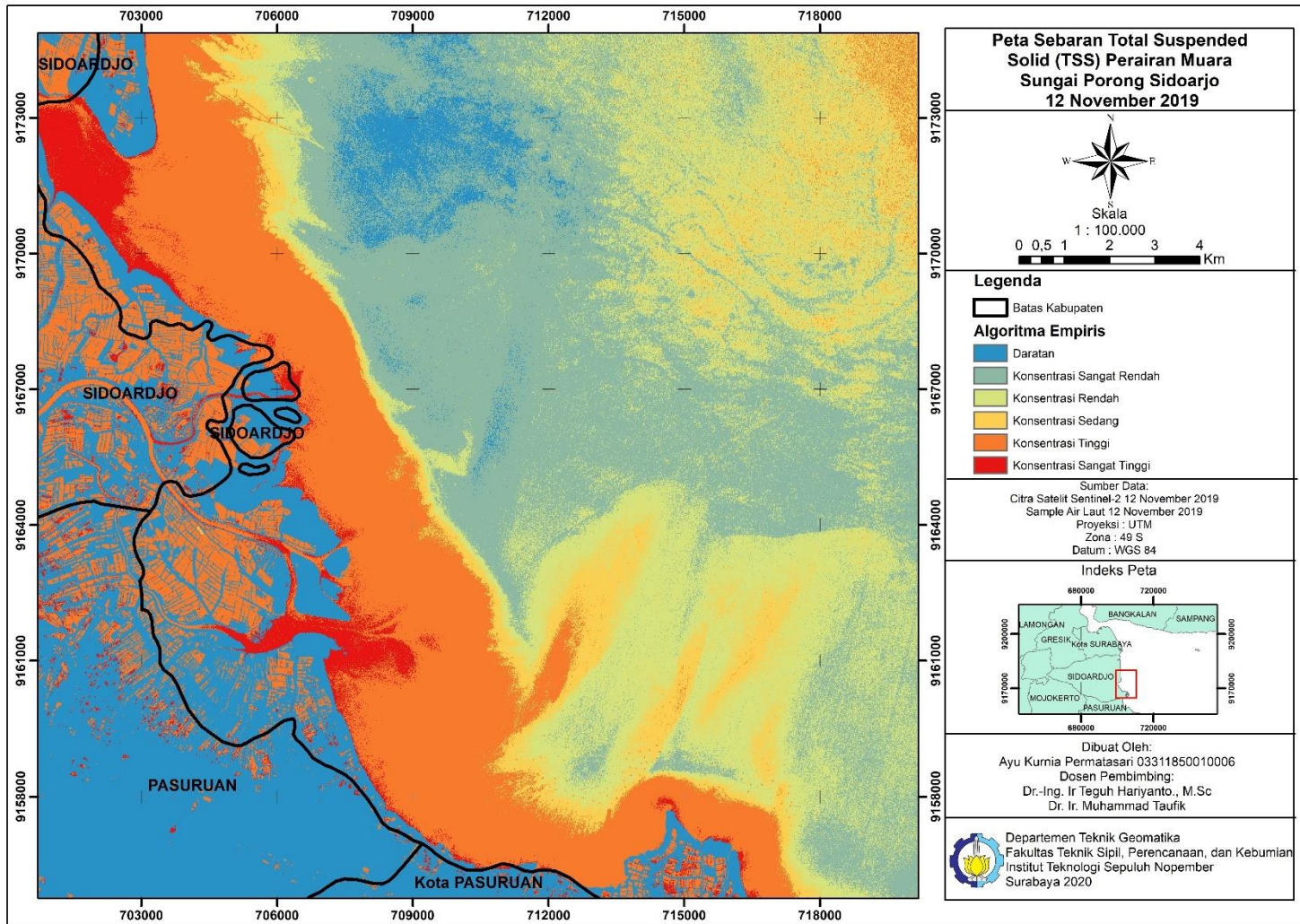
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



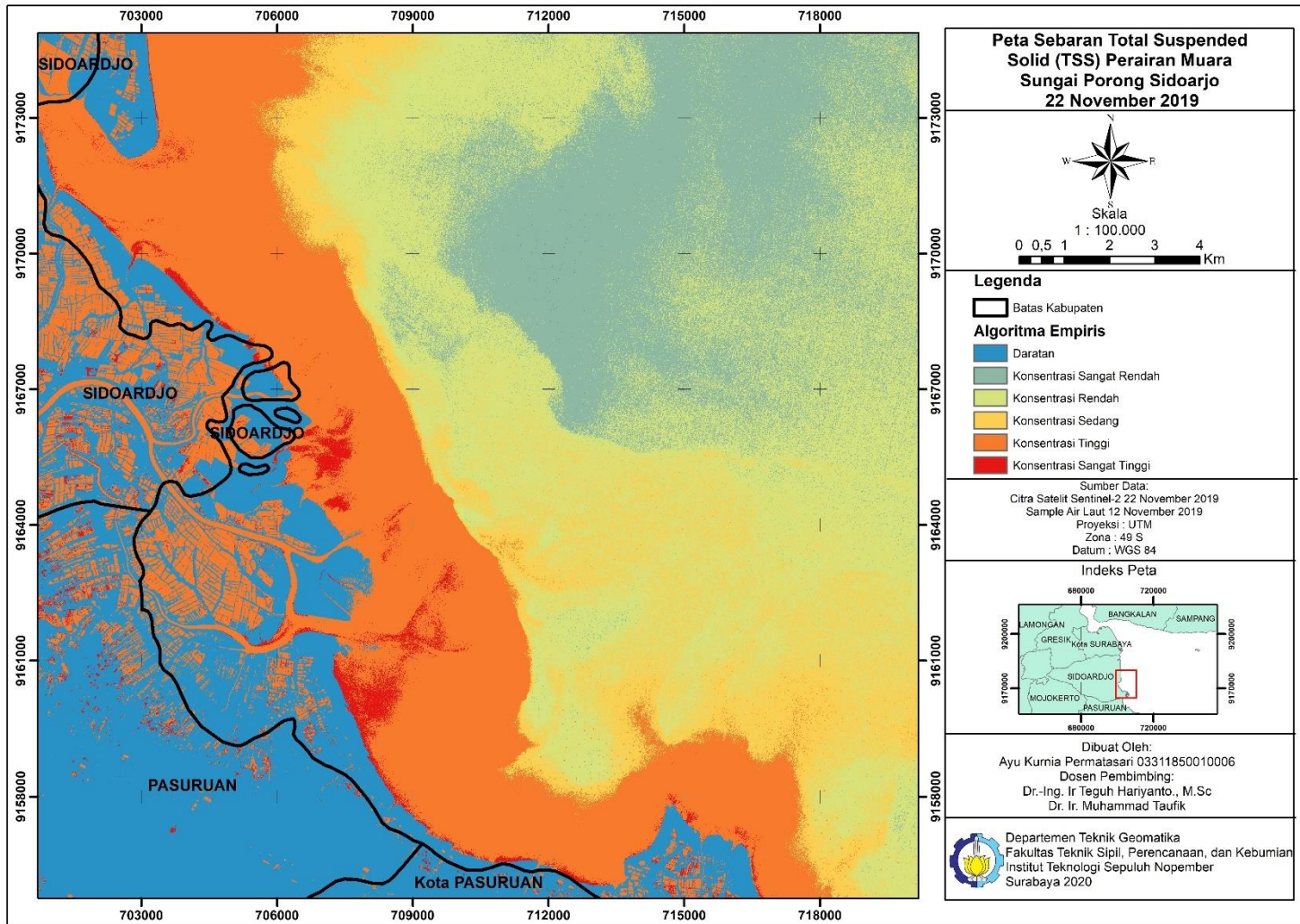
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



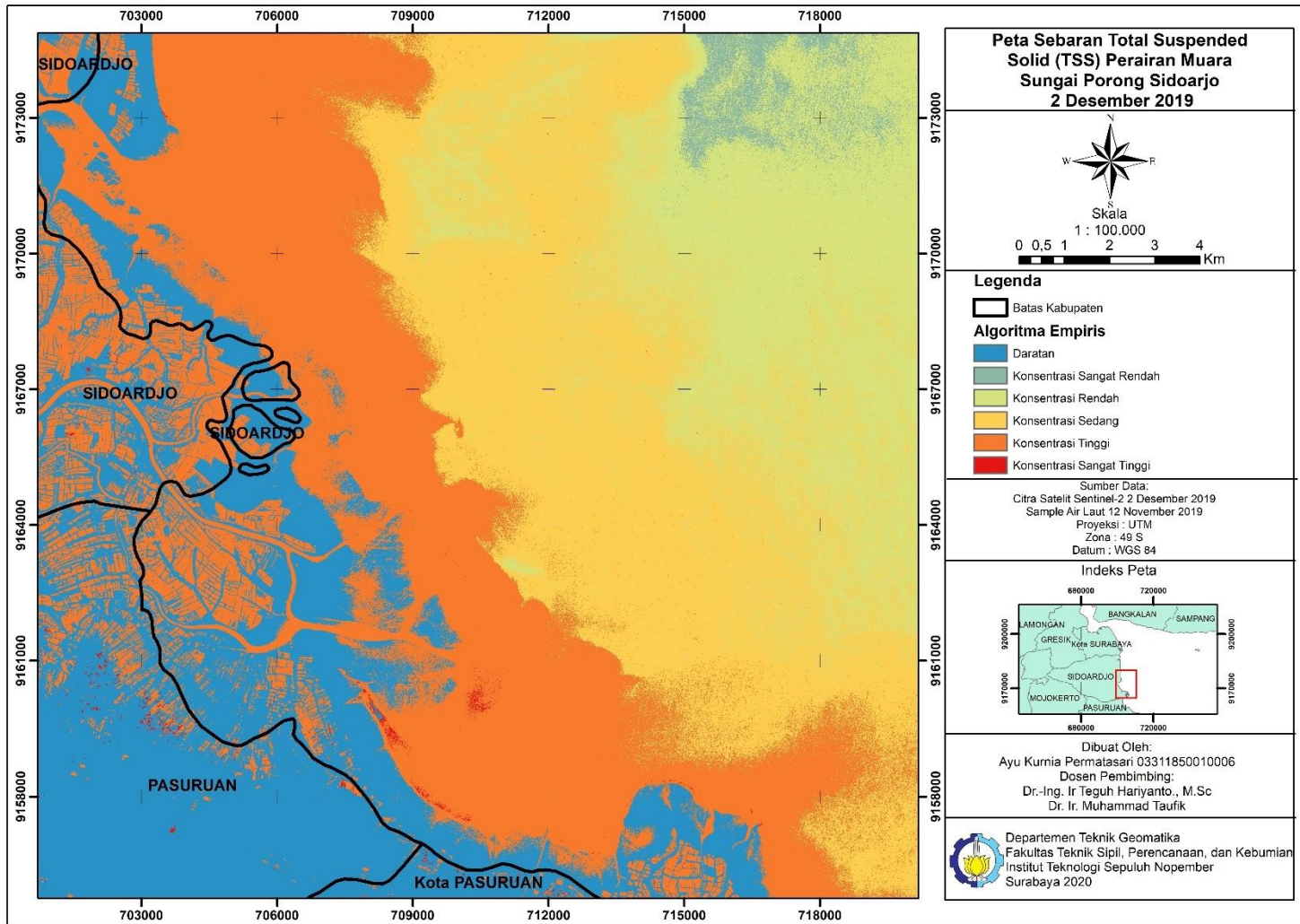
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis, Ayu Kurnia Permatasari, dilahirkan di Surabaya, 17 Agustus 1996, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari Bapak Handi Haris Ekaputra dan Ibu Nana Permanawati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Teladan Pertiwi, SDN Kertajaya Surabaya, SMPN 6 Surabaya, SMAN 16 Surabaya, dan lulus pada tahun 2014. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi Negeri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil jurusan Teknik Geomatika melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa S1, penulis cukup aktif di organisasi intra kampus yaitu sebagai Staff Departemen Daya Cipta Kreasi Mahasiswa HIMAGE-ITS periode 2015-2016 serta Sekretaris Departemen Daya Cipta Kreasi Mahasiswa HIMAGE-ITS periode 2016-2017. Selain itu penulis juga aktif mengikuti keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD. Penulis pernah mengikuti kegiatan Kerja Praktek/ Magang di PT ANTAM (Aneka Tambang) selama satu bulan. Dalam penyelesaian syarat Tugas Akhir, penulis melaksanakan Tugas Akhir di PT ANTAM, penulis memilih bidang keahlian Geospasial, dengan Judul Tugas Akhir “Analisis Spasial Potensi Emas Regional Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kabupaten Trenggalek)”. Setelah lulus Sarjana pada September 2018, penulis langsung melanjutkan studinya di Teknik Geomatika ITS sebagai mahasiswa S2. Penulis mengambil bidang keahlian Geospasial, dengan Judul Tesis “Pemodelan Algoritma Untuk Pendugaan Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) Menggunakan Data *In-Situ* Dan Citra Satelit Sentinel-2 (Studi Kasus : Muara Kali Porong, Sidoarjo)”. Jika ingin menghubungi penulis dapat menghubungi ayukurniapermatasari@gmail.com.