

ANALISIS PERUBAHAN KERAPATAN TANAMAN MANGROVE TERHADAP PERUBAHAN GARIS PANTAI DI KABUPATEN PATI TAHUN 2017-2020 DENGAN METODE PENGINDRAAN JAUH DAN APLIKASI *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)*

Thia Prahesti^{*)}, Nurhadi Bashit, Yasser Wahyuddin

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

ABSTRAK

Kabupaten Pati memiliki garis pantai sepanjang 60 km dengan karakteristik pantai yang berlumpur. Masyarakat pesisir di Kabupaten Pati sangat bergantung pada hasil pantai dan laut, sehingga wilayah pesisir perlu dijaga kelestariannya. Penurunan kualitas lingkungan pesisir dapat diindikasikan dengan melihat kualitas tanaman mangrove. Pemerintah Kabupaten Pati melakukan penanaman mangrove secara berkala untuk memperbaiki kualitas hidup di lingkungan pesisir pantai, namun belum ada pengawasan. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui hubungan antara perubahan kerapatan tanaman mangrove dengan perubahan garis pantai di Kabupaten Pati tahun 2017-2020. Penelitian ini menggunakan metode penginderaan jauh dan SIG dengan menggunakan metode transformasi indeks air NDWI dalam penentuan garis pantai pada Citra Sentinel-2 tahun 2017-2020, reduksi garis menggunakan DEMNAS dan MSL, kemudian diolah dengan SIG menggunakan DSAS untuk mendapatkan hasil perubahan garis pantai (NSM) serta klasifikasi terbimbing untuk tutupan lahan dan indeks vegetasi NDVI dan GNDVI yang digunakan untuk memetakan kerapatan vegetasi mangrove di pesisir Kabupaten Pati. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata perubahan garis pantai di Kabupaten Pati mengalami penambahan sebesar 22,260 m. Perubahan luasan mangrove di pesisir Kabupaten Pati mengalami kenaikan sebesar 86,634 Ha. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa hubungan perubahan kerapatan mangrove dengan perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Pati menggunakan regresi linear sederhana dengan hasil koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,089 dan koefisien korelasinya (R) sebesar 0,299. Hasil ini menunjukkan korelasi cukup. Perhitungan uji F untuk mengetahui perubahan kerapatan mangrove dengan perubahan garis pantai memiliki pengaruh signifikan, sehingga jika nilai kerapatan mangrove semakin tinggi maka perubahan garis pantai akan cenderung bertambah (akresi).

Kata Kunci: DSAS, garis pantai, mangrove, penginderaan jauh

ABSTRACT

Pati Regency has a coastline of 60 km with a characteristic muddy beach. The coastal community in Pati Regency is very dependent on coastal and marine products, so it needs to be preserved. A decrease in coastal environment quality can be indicated by looking at the mangrove of quality plants. The Government of Pati Regency carries out regular mangrove planting to improve the quality of life in the coastal environment, but there is no supervision. This study uses remote sensing technology and GIS to determine the relationship between changes in mangrove plant density and changes in coastlines in Pati Regency from 2017 to 2020. This study uses remote sensing methods using the NDWI water index transformation method to determine the shoreline from Sentinel-2-year image. 2017-2020, MSL reduction using DEMNAS and MSL, then processed with a Geographical Information System using DSAS to obtain the results of shoreline changes (NSM) as well as guided classifications for land cover and vegetation indexes NDVI and GNDVI which are used to map mangrove vegetation density on the coast of the Pati Regency. The results showed that the average change in the coastline in Pati Regency has increased by 22,260 m. Changes in the area of mangroves on the coast of Pati Regency have increased by 86.634 hectares. The results also showed that the relationship between changes in mangrove density and shoreline changes on the coast of Pati Regency used simple linear regression with the coefficient of determination (R^2) of 0,089 and the correlation coefficient (R) of 0,299. These results indicate a correlation enough. The calculation of the F test to determine changes in mangrove density with changes in shoreline has a significant effect, so that if the value of mangrove density is higher, changes in shoreline will tend to increase (accretion).

Keywords: coastline, DSAS, mangrove, remote sensing

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Pantai merupakan tempat bertemunya daratan dan lautan di permukaan bumi dari muka laut rata-rata terendah sampai muka air tertinggi (Sandy, 1996). Garis pantai dapat mengalami perubahan secara terus menerus yang meliputi proses pengikisan (abrasi) dan penambahan (akresi). Hutan mangrove merupakan sebutan untuk ekosistem khusus yang tumbuh di sepanjang pantai maupun sungai dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut, sehingga dapat disebut sebagai *interface ecosystem* yang dapat menghubungkan ke arah daratan serta pesisir muara (Nybakken, 1993).

Hubungan antara ekosistem hutan mangrove dan garis pantai dapat dijumpai di seluruh garis pantai di Indonesia. Kabupaten Pati merupakan wilayah pesisir utara Pulau Jawa dengan panjang garis pantai mencapai 60 km dengan ciri pantai berlumpur. Penjagaan garis pantai kini mulai disadari oleh Pemerintah Kabupaten Pati. Salah satu penjagaan garis pantai yang dapat dilakukan adalah pengadaan dan penanaman tanaman mangrove secara berkala. Pihak manapun belum ada yang mengontrol secara bertahap hubungan antara perubahan kerapatan mangrove dan perubahan garis pantai di Kabupaten Pati. Perlu adanya penelitian yang fokus akan perubahan garis pantai secara berkala, perubahan luas dan kerapatan tanaman mangrove secara berkala, serta hubungan dari keduanya.

Teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) sangat cocok untuk penelitian yang dilakukan pada area yang luas dan sulit dijangkau. Penelitian tentang perubahan garis pantai dan perubahan kerapatan mangrove sangat cocok dilakukan dengan metode ini. Ditambah dengan adanya kemudahan akses dalam mendapatkan data citra, *Digital Elevation Model* (DEM), dan data pasang surut (pasut) yang sudah tersedia *online*.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengukur perubahan garis pantai di Kabupaten Pati menggunakan teknologi penginderaan jauh dengan Citra Sentinel-2 tahun 2017 sampai 2020. Pengolahan ekstraksi garis pantai menggunakan metode transformasi indeks *Normalized Difference Water Index* (NDWI), direduksi nilai pasang surut sesuai *Mean Sea Level* (MSL) menggunakan *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS), serta menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) dengan metode *Net Shoreline Movement* (NSM) untuk mendapatkan perubahan garis pantai dari terlama ke terbaru. Citra diolah dengan metode klasifikasi terbimbing untuk mengetahui luasan mangrove dan indeks vegetasi *Green Normalized Difference Water Index* (GNDVI) dan *Normalized Difference Water Index* (NDVI) untuk kerapatan mangrove. Analisis dilakukan untuk mengetahui hubungan antara perubahan garis pantai dengan perubahan kerapatan mangrove menggunakan analisis regresi linear sederhana dan uji F.

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan, penelitian ini menganalisis hubungan antara perubahan kerapatan mangrove terhadap perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Pati. Penelitian ini diharapkan

mampu menjadi acuan dalam menangani atau mencegah terjadinya abrasi garis pantai dengan mengoptimalkan penanaman tanaman mangrove di sepanjang garis pantai Kabupaten Pati.

I.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini mengangkat rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hasil perubahan garis pantai di Kabupaten Pati dari tahun 2017 sampai 2020?
2. Berapa besar perubahan luas mangrove di pesisir Kabupaten Pati dari tahun 2017 sampai 2020?
3. Bagaimana hubungan perubahan kerapatan tanaman mangrove dengan perubahan garis pantai dipesisir Kabupaten Pati dari tahun 2017 sampai 2020?

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan akhir, yakni:

1. Mengetahui hasil perubahan garis pantai di pesisir Kabupaten Pati dari tahun 2017 sampai 2020.
2. Mengetahui besar perubahan luas mangrove di pesisir Kabupaten Pati dari tahun 2017 sampai 2020.
3. Mengetahui hubungan perubahan kerapatan tanaman mangrove dengan perubahan garis pantai dipesisir Kabupaten Pati dari tahun 2017 sampai 2020.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian memiliki batasan yang diharapkan fokus pada tujuan penelitian, yakni:

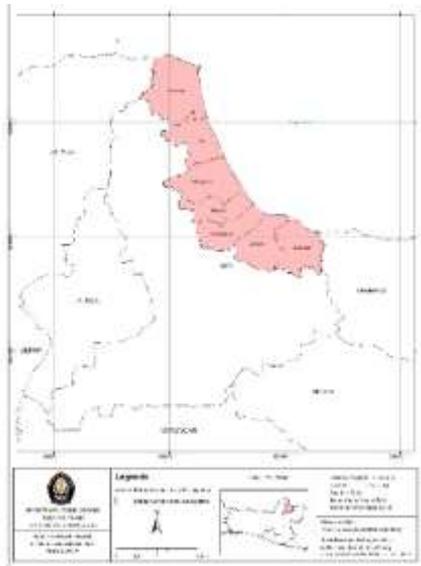
1. Proses pra pengolahan terdiri dari pemilihan citra, konversi *Top of Atmosfer* (ToA) ke *Bottom of Atmosfer* (BoA), *resampling* citra dan uji akurasi geometri.
2. Transformasi indeks NDWI untuk ekstraksi garis pantai dan dilakukan digitasi *on screen* pada garis pantai.
3. Citra disetiap tahun dihitung nilai MSL berdasarkan nilai di stasiun pengamatan pasang surut Jepara dengan metode *Least Square* dan direduksi menggunakan DEMNAS.
4. Penggunaan DSAS dengan metode NSM.
5. Klasifikasi terbimbing metode *Maximum Likelihood* untuk mengelompokkan jenis tutupan lahan.
6. Penggunaan indeks vegetasi GNDVI dan NDVI untuk mengetahui kerapatan mangrove.
7. Validasi lapangan terdiri dari validasi garis pantai, validasi tutupan lahan dan validasi kerapatan mangrove.
8. Analisis regresi linear sederhana dan uji F untuk mengetahui hubungan perubahan kerapatan mangrove dan perubahan garis pantai.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Kajian Wilayah Penelitian

Kabupaten Pati merupakan salah satu dari 35 daerah kabupaten/kota di Jawa Tengah bagian timur. Secara astronomi Kabupaten Pati terletak antara 6°25' - 7°00' Lintang Selatan dan antara 100°50' - 111°15'

Bujur Timur. Lokasi penelitian dikhususkan di wilayah pesisir pantai yang mencakup 7 kecamatan dari 21 kecamatan di Kabupaten Pati meliputi Dukuhseti, Tayu, Margoyoso, Trangkil, Wedarijaksa, Juwana dan Batangan. Lokasi penelitian pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Lokasi Penelitian
(Sumber data: <http://tanahair.indonesia.go.id/>)

II.2 Hutan Mangrove

Hutan mangrove atau hutan bakau disebut hutan payau dikarenakan tanaman mempunyai kadar garam yang cukup tinggi yaitu antara 0,5 parts per thousand (ppt) dan 30 ppt. Fungsi hutan mangrove sebagai berikut (Bengen, 1999):

1. Media penahan gelombang, angin maupun badai, abrasi, lumpur, intrusi air laut dan sedimen.
2. Penghasil *detritus* (sampah hara) dari batang dan daunnya.
3. Tempat hidup anggota biota laut.
4. Sebagai penghasil kayu baik untuk pembangunan, kayu bakar, kertas maupun kayu arang.
5. Tempat benih tumbuh untuk ikan maupun udang.
6. Sebagai wisata hutan mangrove.

II.3 Garis Pantai

Pantai merupakan jalur batas antara darat dan laut saat pasang tertinggi dan surut terendah diukur, fisik laut dan sosial ekonomi bahari dapat mempengaruhinya, ke wilayah darat dibatasi oleh proses alami dan kegiatan manusia di daerah darat (Yuwono, 1992). Berdasarkan UU Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial, Pasal 13 Ayat 3 disebutkan bahwa Peta Rupabumi Indonesia menetapkan garis pantai berdasarkan garis kedudukan dari muka air laut rata-rata (MSL).

Evolusi garis pantai atau perubahan garis pantai terjadi pada rentang waktu detik sampai dengan jutaan tahun (Sulaiman dan Soehardi, 2008). Abrasi merupakan suatu proses pantai yang terkikis oleh tenaga gelombang laut dan arus laut yang dapat

merusak pantai (Setiyono, 1996). Menurut (Purwandani, 2013), akresi ialah perubahan garis pantai bertambah ke laut karena proses sedimentasi dari daratan atau sungai menuju ke arah laut.

II.4 Perhitungan Pasang Surut (Pasut)

Pasut merupakan fenomena naik turunnya permukaan air laut yang secara periodik karena pengaruh gravitasi dari benda-benda langit, khususnya bulan dan matahari (Poerbandono, 2005). Tipe pasut dibedakan menjadi 3 komponen yaitu tengah harian, harian, dan periode panjang. Metode penentuan komponen pasut dan prediksinya menggunakan beberapa metode, yakni *admiralty*, semi grafik, *least squares* dan lainnya. Metode paling umum digunakan adalah *least square*.

II.5 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan ilmu atau seni untuk memperoleh informasi dari suatu objek, wilayah atau gejala dengan mengambil data yang diperoleh tanpa berhubungan ataupun kontak langsung dengan objek atau gejala tersebut (Kiefer dan Lillesand, 1979).

II.5.1 Citra Sentinel-2

Sentinel-2 ialah salah satu satelit penginderaan jauh dengan sensor pasif buatan Eropa multispektal yang mempunyai 13 *band*. Citra terdiri dari 4 *band* beresolusi 10 m, 6 *band* beresolusi 20 m, dan 3 *band* bereolusi spasial 60 m dengan lebar sapuan 290 km. Format produk Sentinel-2 berbentuk *Standard Archive Format for Europe* (SAFE), termasuk gambar dengan format JPEG2000, indikator kualitas, data tambahan, dan metadata (ESA, 2019).

II.5.2 Konversi ToA ke BoA

Citra Sentinel-2 level 1C perlu dilakukan konversi dari nilai reflektan. Sen2Cor pada SNAP adalah prosesor untuk pembuatan dan pemformatan produk Sentinel-2 Level 2A dengan data input citra Level 1C. Sen2Cor juga mencakup beberapa opsi yang dapat diaktifkan seperti koreksi *cirrus*, koreksi *terrain*, koreksi *adjacency*, dan koreksi empiris *Bidirectional Reflectance Distribution Function* (BRDF) (Gascon dkk., 2017).

II.5.3 Resampling Citra

Resampling citra merupakan metode interpolasi nilai spektral, sehingga diperoleh nilai piksel yang baru (Purwadhi, 2001). *Resampling* pada *software* SNAP berfungsi untuk mengubah ukuran piksel gambar sesuai permintaan, sehingga memungkinkan untuk menyajikan dan memproses data dengan resolusi spasial yang berbeda sumbernya secara seragam (European Space Agency, 2018).

II.5.4 Uji Ketelitian Geometrik

Cara untuk mengetahui hasil uji ketelitian geometri dapat mengacu pada PERKA BIG Nomor 15 Tahun 2014. Nilai CE90 dan LE90 didapat dengan rumus mengacu kepada standar *United States National Map Accuracy Standards* (US NMAS) pada persamaan (1) dan (2).

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr \dots\dots\dots(1)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

RMSEr : *Root Mean Square Error* posisi x dan y
 RMSEz : *Root Mean Square Error* posisi z

II.5.5 Klasifikasi Terbimbing

Klasifikasi terbimbing merupakan proses klasifikasi dengan menggunakan sampel dari piksel yang sudah dikenal (sesuai dengan kelas informasi di lapangan) untuk mengelompokkan piksel-piksel yang belum diketahui identitasnya (Indarto, 2017).

Composite band atau penyusunan komposit warna diperlukan untuk mempermudah interpretasi citra pada pengolahan penginderaan jauh. Hasil RGB 8a;11;4 di citra Sentinel-2 komposit menunjukkan perbedaan yang jelas antara hutan bakau dan benda di sekitarnya (Purwanto dan Asriningrum, 2019).

II.5.6 Matriks Konfusi

Matriks konfusi diartikan sebagai suatu metode yang berfungsi untuk melakukan analisis apakah hasil klasifikasi sudah baik dalam mengenali tutupan dari kelas yang berbeda (Han dan Kamber, 2001).

II.5.7 NDWI

NDWI merupakan indeks transformasi air yang berasal dari prinsip yang sama dengan NDVI. NDWI menggunakan gelombang inframerah dekat dan gelombang hijau. Rumusan NDWI (McFeeters, 1996) pada persamaan (3):

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

Green : Reflektan *Band* 3 dicitra Sentinel-2
 NIR : Reflektan *Band* 8 dicitra Sentinel-2

II.5.8 NDVI

Indeks vegetasi NDVI merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan dari tanaman. Perhitungan nilai NDVI didapat dengan membandingkan nilai reflaktansi kanal inframerah dekat dengan kanal cahaya tampak. Algoritma NDVI pada persamaan (4).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

Red : Reflektan *Band* 4 dicitra Sentinel-2
 NIR : Reflektan *Band* 8 dicitra Sentinel-2

II.5.9 GNDVI

GNDVI merupakan indeks vegetasi yang dikembangkan dari indeks vegetasi NDVI dimana dalam indeks ini ditemukan konsentrasi *Chlorophyl A* yang jauh lebih sensitif daripada aslinya (*band* merah pada NDVI) sehingga memungkinkan konsentrasi yang tepat untuk pigmen vegetasi (Gitelson dkk., 1996). Algoritma GNDVI pada persamaan (5).

$$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

Green : Reflektan *Band* 3 dicitra Sentinel-2
 NIR : Reflektan *Band* 8 dicitra Sentinel-2

II.6 DEM NASIONAL (DEMNAS)

DEM merupakan data digital yang menggambarkan bentuk geometri permukaan bumi maupun bagiannya yang tersusun oleh perkumpulan titik-titik koordinat hasil pengambilan sampel dari

permukaan bumi menggunakan algoritma-algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut (Tempfli, 1991). DEMNAS dibentuk dari beberapa sumber data meliputi IFSAR (resolusi 5m), TERRASAR-X (resolusi 5m) dan ALOS PALSAR (resolusi 11,25m), dengan menambahkan data *Masspoint* hasil *stereo-plotting*. Resolusi spasial DEMNAS 0,27-arcsecond menggunakan datum vertikal EGM2008 (Badan Informasi Geospasial, 2018).

II.7 DSAS

DSAS adalah aplikasi perangkat lunak yang tersedia secara bebas yang bekerja di dalam perangkat lunak ArcGIS. DSAS mengukur jarak antara garis dasar dan setiap persimpangan garis pantai di sepanjang *transect*, dan menggabungkan informasi tanggal, dan ketidakpastian posisi untuk setiap garis pantai, untuk menghasilkan metrik perubahan. *Net Shoreline Movement* (NSM) ialah perhitungan mengukur jarak perubahan garis pantai antara terlama dan terbaru (Himmelstoss dkk., 2018).

II.8 Penentuan Garis Pantai Menggunakan Citra Multitemporal dan DEM

Penggunaan metode penginderaan jauh sudah sangat umum digunakan untuk mengidentifikasi garis pantai. Banyak aspek lain yang sebenarnya perlu ditambahkan seperti pengaruh pasang surut dan kemiringan topografinya. DEM dapat dimanfaatkan secara optimal untuk membantu mengetahui posisi garis pantai yang sebenarnya karena mampu mengidentifikasi secara ideal berdasarkan nilai pasut dan kemiringan topografi (Cham dkk., 2020). Algoritma ini pada persamaan (6).

$$a = h \times \cotan \alpha \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

a : Nilai pergeseran garis pantai (m)
 h : Nilai kedalaman air (m)
 α : Sudut kemiringan

II.9 Uji Statistik

II.9.1 Penentuan Sampel

Penentuan sampel validasi ada dua, yakni:

1. Ukuran sampel yang layak untuk penelitian minimal 30 untuk setiap grup (Suharso, 2009).
2. Rumus slovin digunakan sebagai penentuan jumlah sampel. Berikut merupakan penjelasan rumus slovin pada persamaan (7):

$$n = \frac{N}{1 + N(e^2)} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

n : Jumlah sampel
 N : Jumlah total populasi
 e : Batas toleransi eror

II.9.2 Teknik *Sampling*

Simple random sampling merupakan teknik menentukan sampel sampai unit tingkat sampel. Semua sampel mempunyai peluang yang sama untuk dijadikan sebagai sampel. Cara ini bisa dilakukan jika populasi bersifat homogen (Margono, 2004).

II.9.3 Uji Normalitas

Uji normalitas mengetahui apakah masing-masing dari variabel terdistribusi normal atau tidak. Uji ini melakukan pengujian pada variabel-variabel lain dengan menganggap bahwa nilai residualnya mengikuti distribusi normal. Jika asumsi ini dilanggar maka uji statistiknya menjadi tidak valid dan statistik parameternya tidak bisa digunakan (Ghozali, 2013).

II.9.4 Korelasi

Korelasi atau analisis hubungan merupakan suatu bentuk analisis data pada penelitian yang mempunyai tujuan untuk mengetahui kekuatan maupun arah dari bentuk hubungan dua variabel beserta besarnya pengaruh yang diakibatkan oleh variabel bebas dan variabel lainnya (variabel terikat). Tingkat korelasi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Tingkat korelasi (Sarwono dan Budiono, 2012)

No	Presentase korelasi	Jenis korelasi
1	0	Tidak Ada
2	0-0,25	Sangat Lemah
3	0,25-0,50	Cukup
4	0,50-0,75	Kuat
5	0,75-1	Sangat Kuat
6	1	Sempurna

II.9.5 Regresi Linear Sederhana

Regresi adalah alat ukur untuk mengetahui ada tidaknya hubungan atau pengaruh dari antarvariabel. Regresi linear sederhana ini hanya melibatkan dua variabel yaitu variabel x sebagai variabel bebas dan variabel y sebagai variabel terikat (Hasan, 2008). Rumus regresi linear sederhana pada persamaan (8).

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

- a : Konstanta (intersep), perpotongan dengan sumbu vertikal
- b : Koefisien regresi (*slope*)
- Y : Variabel dependen (variabel tak bebas)
- X : Variabel independen (variabel bebas)

II.9.6 Uji F

Menurut (Siregar, 2013) uji F atau uji serentak ataupun uji model/uji anova untuk menguji apakah model regresi diolah baik/signifikan maupun tidak baik/non signifikan.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yakni:

1. Perangkat keras komputer berupa laptop Lenovo ideapad 330.
2. SNAP 6.0 untuk proses pra pengolahan.
3. ENVI 5.3 untuk melakukan pengolahan NDWI, NDVI, GNDVI, dan klasifikasi terbimbing.
4. SPSS 25 untuk uji normalitas dan regresi uji F.
5. Microsoft Excel untuk pengolahan MSL.
6. ArcGIS 10.6 untuk pengolahan reduksi garis pantai, DSAS dan pembuatan layout hasil akhir.
7. Microsoft Office Word dan Power Point untuk pembuatan laporan penelitian.

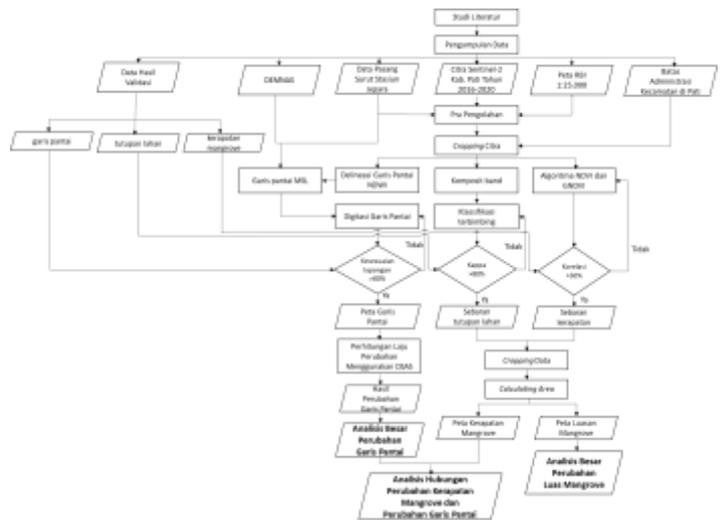
Data yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2**:

Tabel 2 Data Penelitian

No.	Data	Tahun	Sumber
1.	Citra Sentinel-2	2017 - 2020	https://scihub.copernicus.eu/
2.	Peta RBI 1:25.000	1999	http://tanahair.indonesia.go.id/
3.	DEMNAS	2014	http://tanahair.indonesia.go.id/
4.	Batas administrasi kecamatan	1999	http://tanahair.indonesia.go.id/
5.	Pasut Stasiun Jebara	2017 - 2020	http://ina-sealevelmonitoring.big.go.id/

III.2 Tahapan Penelitian

Secara garis besar, alur pelaksanaan penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Diagram alir

III.2.1 Tahap Pra Pengolahan

Tahap pra pengolahan terdiri dari: pemilihan citra dengan menyesuaikan tinggi pasang surut, konversi TOA ke BOA (koreksi atmosfer menggunakan *plug-in* Sen2Cor), *resampling* citra untuk nilai baru dengan pendekatan *nearest* dan memilih salah satu *band* sebagai referensi pengolahan, *mosaicking* citra pada sapuan T49MDN dan T49MEN, uji akurasi geometrik untuk pemeriksaan geometri citra.

III.2.2 Tahap Pengolahan

Tahap pengolahan terdiri dari: pengolahan ekstraksi garis pantai menggunakan transformasi indeks NDWI di citra tahun 2017, 2018, 2019, dan 2020, perhitungan nilai MSL dengan data pasut Stasiun Jebara tiap tahunnya dengan metode *Least Square*, garis pantai hasil digitasi *on screen* direduksi sesuai MSL menggunakan data DEMNAS, perhitungan laju perubahan garis pantai menggunakan DSAS dengan perhitungan NSM, pengolahan klasifikasi terbimbing untuk mendapatkan sebaran dan luasan mangrove pada tahun 2017 dan 2020, pengolahan indeks vegetasi GNDVI dan NDVI untuk mendapatkan perubahan kerapatan mangrove pada tahun 2017 dan 2020, tahap validasi terdiri dari validasi data garis pantai, tutupan lahan, dan kerapatan mangrove.

III.2.3 Tahap Analisis

Analisis data terhadap hasil perubahan garis pantai, hasil perubahan luasan mangrove, dan hasil korelasi antara perubahan kerapatan tanaman mangrove dengan perubahan garis pantai yang dilakukan regresi linear sederhana, uji normalitas, korelasi dan uji F.

IV. Hasil dan Analisis

IV.1 Hasil Perubahan Garis Pantai di Kabupaten Pati tahun 2017-2020

IV.1.1 Pra pengolahan citra

1. Pemilihan citra
Citra dipilih dengan memperhatikan keadaan citra yang bersih dari awan dan mencatat tinggi pasut Stasiun Jepara saat jam perekaman.
2. Hasil Konversi ToA ke BoA
Konversi ToA ke BoA untuk mengoreksi awan *Cirrus* (awan tinggi yang tipis) dan uap air. Hasil proses menunjukkan gambar yang lebih jelas karena pantulannya yang lebih bagus karena terjadi konversi dari produk dengan *dense dark vegetation pixels*.
3. Hasil *Resampling* Citra
Proses *resampling* pada SNAP digunakan untuk merubah resolusi spasial *band* dengan mengacu pada *band* resolusi lebih baik. Contohnya, resolusi spasial *band* 11 berubah menjadi 10m.
4. Hasil *Mosaicking* Citra
Mosaicking untuk menyatukan kedua citra menjadi satu citra yang utuh yang memuat ketujuh kecamatan sebagai area penelitian.
5. Hasil Uji Akurasi Geometri
Penelitian ini dilakukan cek akurasi geometri dengan titik ICP yang mengacu pada peta RBI skala 1:25.000 wilayah Kabupaten Pati. Luas kajian area penelitian adalah 414,852 km². Berdasarkan Modul Validasi Peta Rencana Tata Ruang BIG tahun 2016, jumlah ICP adalah 20 buah (luasan area 250-500 km²). Hasil RMSE dan CE90 tiap citra pada **Tabel 3**.

Tabel 3 RMSE pada masing-masing citra

No.	Tanggal citra	RMSE		CE90 (meter)
		piksel	meter	
1.	19 Mei 2017	0,005	0,046	0,070
2.	14 Mei 2018	0,003	0,034	0,052
3.	8 Juni 2019	0,004	0,034	0,051
4.	12 Juni 2020	0,004	0,037	0,056

IV.1.2 Hasil Ekstraksi Garis Pantai Menggunakan NDWI

Hasil *bandmath* NDWI pada citra Sentinel-2 menghasilkan nilai reflektan dari -1 sampai 1. Nilai 0 merupakan nilai ambang antara dari darat dan laut. Nilai 0 kemudian didigitasi *on screen* menjadi garis pantai. Hasil digitasi *on screen* pada **Gambar 3**.



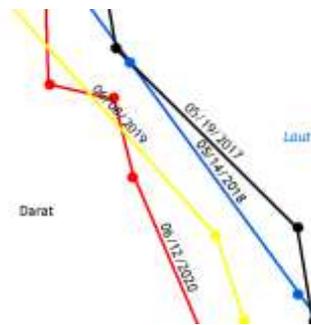
Gambar 3 Hasil digitasi *on screen*

IV.1.3 Hasil Reduksi dengan DEMNAS dan Nilai MSL

Tabel 4 Nilai MSL citra tiap tahun

No.	Tanggal	sensor 2 (m)	MSL (m)
1.	19 Mei 2017	1,30	1,017
2.	14 Mei 2018	1,23	1,017
3.	8 Juni 2019	1,09	0,914
4.	12 Juni 2020	1,30	1,055

Tabel 4 merupakan hasil perhitungan MSL tiap tahun. Hasil digitasi *on screen* pengolahan NDWI dimanfaatkan untuk mencari garis pantai yang baru berdasarkan MSL. Garis pantai hasil NDWI yang telah diekstrak menjadi titik direduksi dengan nilai koreksi X dan Y. Hasilnya adalah titik-titik koordinat baru hasil koreksi pasut dan DEMNAS. Titik-titik ini dihubungkan menjadi garis dengan digitasi *on screen* seperti pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Hasil digitasi titik koordinat hasil reduksi

IV.1.4 Hasil dan Analisis Perhitungan Laju Garis Pantai dengan Perangkat Lunak DSAS

Pada penelitian ini hasil digitasi garis pantai tahun 2017 digunakan sebagai *baseline*. *Baseline* berfungsi sebagai titik awal untuk membuat *transect-transect* yang akan digunakan sebagai titik pengukuran. *Shoreline* berisi garis pantai tahun 2017-2020.

Transect dihitung nilai perubahannya dengan *calculate rates*. Metode NSM menghasilkan nilai jarak perubahan garis pantai terlama dengan terbaru. DSAS secara otomatis membentuk garis dan menghitung perubahan garis pantainya berdasarkan algoritma NSM. Contoh garis *transect* pada **Gambar 5**.

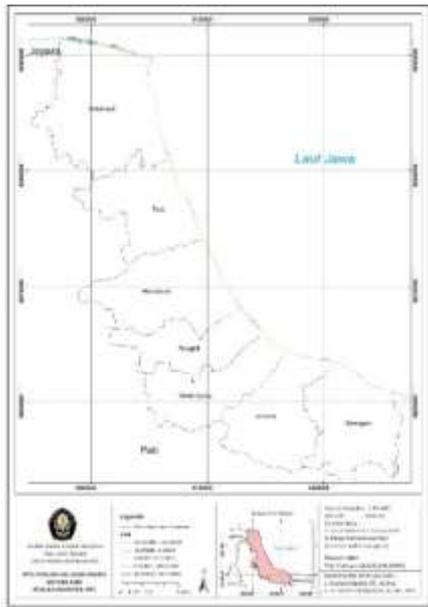


Gambar 5 Contoh *transect* perubahan 2017-2020

Tabel 5 Tabel perhitungan NSM

Jumlah data	558
Minimum	-205,98 m
Maksimum	401,15 m
Jumlah nilai	12.420,98 m
Rata-rata	22,25982 m

Tabel 5 merupakan tabel statistik dari hasil pengolahan. Hasil perhitungan NSM menghasilkan 558 buah garis transek dengan rata-rata perubahan jarak sejauh 22,25982 meter dari tahun 2017-2020. Nilai NSM positif (+) berarti hal ini menunjukkan kemajuan garis pantai (akresi), sedangkan NSM bernilai negatif (-) menunjukkan kemunduran garis pantai (abrasi). Perubahan jarak bernilai positif (+) sehingga pada tahun 2017-2020 perubahan garis pantai di Kabupaten Pati mengalami penambahan. **Gambar 6** merupakan peta perubahan garis pantai.



Gambar 6 Peta perubahan garis pantai

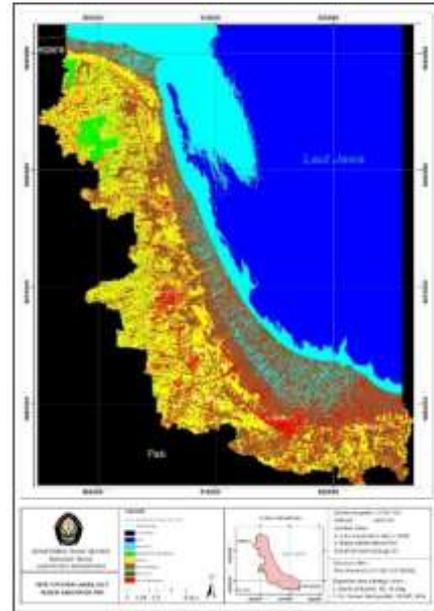
IV.1.5 Validasi Garis Pantai

Hasil validasi garis pantai adalah koordinat daratan dengan hasil digitasi garis pantai apakah titik tersebut masih di dalam daratan atau berada di laut disesuaikan dengan citra. Hasil validasi lapangan didapatkan dengan perbandingan 27 sampel benar dari total 30 sampel. Jika dipresentasikan dengan tingkat kesesuaian dengan citra adalah 90% dengan tingkat ketidakcocokan sebanyak 10%.

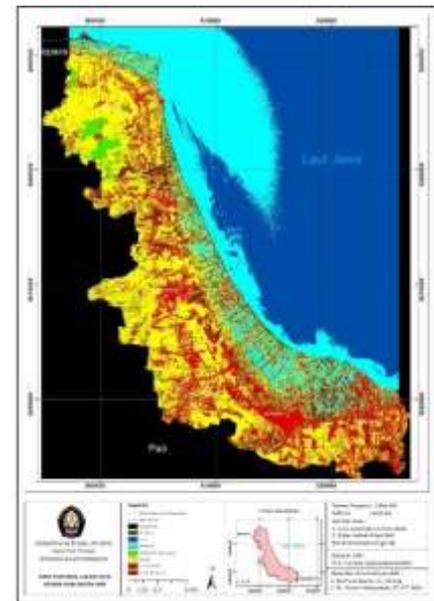
IV.2 Hasil Perubahan Luas Hutan Mangrove di Kabupaten Pati Tahun 2017-2020

IV.2.1 Hasil Klasifikasi Terbimbing

Penelitian ini menggunakan klasifikasi terbimbing dengan metode *Maximum Likelihood* yang didasarkan pada perkiraan densitas probabilitas untuk setiap tutupan lahan dimana saat penentuan sampel mempunyai ciri-ciri statistika masing-masing piksel. Hasil klasifikasi menghasilkan tutupan lahan menjadi 7 kelas klasifikasi, yaitu: laut, badan air, mangrove, vegetasi non mangrove, sawah, lahan kosong dan pemukiman. Tujuan utama proses ini untuk mendapatkan tutupan lahan mangrove. **Gambar 7** adalah hasil klasifikasi terbimbing dari citra tahun 2017, **Gambar 8** adalah hasil klasifikasi terbimbing dari citra tahun 2020, sedangkan **Tabel 6** adalah hasil luas tutupan lahan yang didapat dari **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



Gambar 7 Hasil klasifikasi terbimbing 2017



Gambar 8 Hasil klasifikasi terbimbing 2020

Tabel 6 Luas tiap hasil tutupan lahan

Tutupan Lahan	2017 (Ha)	2020 (Ha)
Laut	44.940,71	40.214,54
Mangrove	212,96	299,63
Badan Air	15.919,12	21.641,89
Pemukiman	5.358,88	10.325,25
Sawah	16.066,2	20.519,38
Vegetasi Non Mangrove	2.225	1789,91
Lahan Kosong	15.815,73	5.748
Jumlah	100.538,6	100.538,6

IV.2.2 Validasi Tutupan Lahan

Validasi tutupan lahan tahun 2020 dilakukan dengan *ground check*. Jumlah sampel dihitung dengan rumus slovin dengan tingkat kepercayaan 90%. Didapatkan jumlah sampel 100 buah, sedangkan jumlah kelas tutupan lahan adalah 7, sehingga jika dibagi rata

mempunyai 15 titik sampel tiap tutupan lahan dengan jumlah sampel 105 buah. Hasil validasi dihitung dengan matriks konfusi untuk dibandingkan dengan hasil pengolahan. Hasil validasi telah memenuhi standar akurasi dimana syarat klasifikasi adalah sebesar > 85% dari *overall accuracy* dan *kappa* lebih dari 80% adalah kuat (Congalton dan Green, 2008). **Tabel 7** merupakan hasil perhitungan matrik konfusi.

Tabel 7 Perhitungan hasil matriks konfusi

Kelas	Komisi	Omisi	User (%)	Producer (%)
Laut	0/15	0/15	100	100
Mangrove	0/14	1/15	100	93,333
Badan air	1/16	0/15	93,75	93,75
Pemukiman	1/16	1/16	93,75	93,75
Lahan kosong	0/13	2/15	100	86,667
Sawah	1/16	0/15	93,75	100
Vegetasi non mangrove	1/16	0/15	93,75	100
Kappa (%)	95,6			
Overall (%)	96,190			

IV.2.3 Hasil Pengolahan Indeks Vegetasi

Pengolahan indeks vegetasi NDVI dan GNDVI tahun 2017 dan 2020 dilakukan untuk mengetahui tingkat kerapatan tajuk dari tutupan lahan. Hasil indeks vegetasi di-*overlay* dengan hasil tutupan mangrove sehingga didapat nilai kerapatan mangrove.

IV.2.4 Perubahan Luas Mangrove

Tingkat kerapatan mangrove dibagi menjadi 3 kelas yang dikelompokkan dalam kategori jarang, sedang dan lebat. Kerapatan dengan indeks vegetasi GNDVI mengikuti kriteria yang sama dengan NDVI karena mempunyai rentang nilai yang sama (Masitha, 2017). Kriteria kerapatan mangrove pada **Tabel 8**. Luas mangrove berdasarkan kerapatan pada **Tabel 9**.

Tabel 8 Kriteria tingkat kerapatan mangrove (Departemen Kehutanan, 2005)

No.	Kerapatan tajuk	Nilai NDVI
1.	Lebat	0,43 – 1,00
2.	Sedang	0,33 – 0,42
3.	Jarang	-1,00 – 0,32

Tabel 9 Luas mangrove berdasarkan kerapatan tahun 2017

Kerapatan tajuk	Luas 2017 (Ha)		Luas 2020 (Ha)	
	NDVI	GNDVI	NDVI	GNDVI
Lebat	210,88	202,77	296,58	278,74
Sedang	1,73	4,01	1,84	15,94
Jarang	2,43	6,18	1,21	4,95
Jumlah	212,96	212,96	299,63	299,63

Luas mangrove pada tahun 2017 mempunyai nilai 212,96 Ha sedangkan pada tahun 2020, mangrove mempunyai luas 299,63 Ha. Terjadi perubahan luas penambahan sebesar 86,67 Ha. Sedangkan untuk tingkat kerapatannya, berbeda-beda nilainya antara NDVI dan GNDVI.

Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Pati Tahun 2010-2030 pasal 8 ayat 4 butir C dari Peraturan Daerah Kabupaten Pati Nomor 5 Tahun 2011 bahwa mengembangkan Ruang Terbuka Hijau (RTH) dengan luas paling sedikit 30% (tiga puluh persen) dari luas kawasan perkotaan. Hasil presentase RTH dari luas kawasan tahun 2017 adalah 36,02%

sedangkan hasil presentase RTH dari luas kawasan tahun 2020 adalah 42,35%. Tutupan lahan mangrove tahun 2017 memberi kontribusi RTH sebanyak 4,429% didapat dari 661,93 Ha dibagi 14.942,23 Ha. Tutupan lahan mangrove tahun 2020 memberi kontribusi RTH sebanyak 4,789% didapat dari 841,39 Ha dibagi 17.569,87 Ha.

IV.2.5 Perbandingan Hasil Pengolahan Peneliti dan Pengolahan DLHK

DLHK Provinsi Jawa Tengah telah melakukan pengolahan terkait keadaan mangrove di tiap Kabupaten di Jawa Tengah. Hasil pengolahan pada tahun 2017 tertuang pada buku “Informasi Ekosistem Mangrove Jawa Tengah” (Soegiharto dkk., 2019), sedangkan pada pengolahan keadaan mangrove di Kabupaten Pati tahun 2020 sudah dilaksanakan tetapi belum dipublikasikan dalam buku.

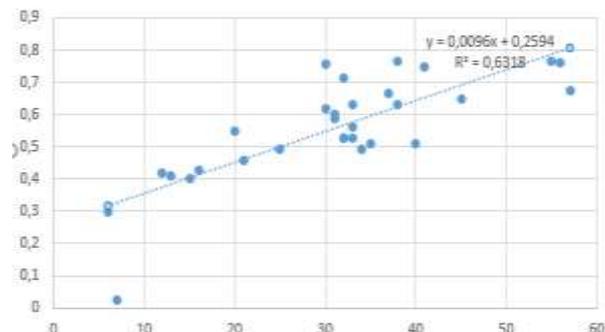
Tabel 10 Hasil pengolahan luas mangrove Pati dari DLHK Jateng dengan hasil penelitian

Kecamatan	2017 (Ha)		2020 (Ha)	
	DLHK Jateng	Hasil Penelitian	DLHK Jateng	Hasil Penelitian
Batangan	35,74	25,296	29,25	26,034
Juwana	41,22	50,331	45,32	71,659
Wedarijaksa	16,74	38,830	27,16	40,526
Trangkil	12,59	26,509	42,41	38,347
Margoyoso	11,56	9,130	13,07	20,811
Tayu	20,65	30,800	41,56	44,844
Dukuhseti	-	32,059	49,05	57,368
Jumlah	138,5	212,955	247,82	299,589

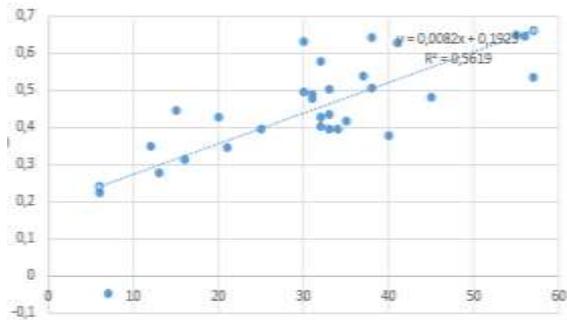
Berdasarkan **Tabel 10**, terjadi perbedaan luas di kedua tahun pengolahan. Pengolahan pada penelitian ini selalu menghasilkan nilai lebih banyak. Meskipun, setiap kecamatan mempunyai nilai yang berbeda-beda, ada yang lebih banyak dan ada yang lebih sedikit dari pengolahan DLHK Jateng. Perbedaan luas yang signifikan ini diakibatkan oleh perbedaan metode pengolahan baik dari DLHK Jateng maupun pengolahan penelitian ini.

IV.2.6 Validasi Kerapatan Mangrove

Validasi kerapatan mangrove mengambil 30 titik sampel dengan menggunakan metode ubinan dengan menghitung jumlah pohon pada 10x10 meter dengan menyesuaikan resolusi spasial pikselnya. Hasil ini dibandingkan dengan nilai kerapatan untuk membuktikan korelasi keduanya dengan analisis regresi linear sederhana. Hasil regresi linear pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**.



Gambar 9 Regresi linear dengan NDVI



Gambar 10 Regresi linear dengan GNDVI

Hasil regresi linear antara jumlah pohon dengan nilai piksel NDVI, diperoleh persamaan $y = 0,0096x + 0,2594$, persamaan tersebut memiliki nilai koefisien determinasi sebesar 0,632 dan koefisien korelasi 0,795. Hasil regresi linear antara jumlah pohon dengan nilai piksel GNDVI diperoleh persamaan $y = 0,0082x + 0,1925$, persamaan tersebut memiliki nilai koefisien determinasi sebesar 0,562 dan koefisien korelasi 0,75. Hasil ini menunjukkan korelasi yang sangat kuat.

IV.3 Hasil dan Analisis Hubungan Perubahan Kerapatan Mangrove dengan Perubahan Garis Pantai

IV.3.1 Uji Normalitas Data

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Beda Kerapatan	.051	100	.200 [*]	.992	100	.786
Beda Garis Pantai	.079	100	.128	.972	100	.831

Gambar 11 Uji normalitas data perubahan NDVI dan garis pantai Kabupaten Pati

Penelitian ini menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov untuk Kabupaten Pati karena menggunakan 100 sampel. Gambar 11 menunjukkan nilai signifikansi NDVI sebesar 0,200 dan nilai signifikansi perubahan garis pantai 0,128. Hasil ini telah memenuhi syarat distribusi normal yaitu $\text{sig} \geq 0,05$, sehingga data dianggap telah terdistribusi normal.

IV.3.2 Regresi Linear Data



Gambar 12 Hasil regresi linear perubahan NDVI dan perubahan garis pantai

Pada Gambar 12 diperoleh koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0895 dan koefisien korelasinya (R) sebesar 0,299. Hasil korelasi ini apabila ditinjau dari tingkat hubungan korelasi Tabel 1 hasil penelitian termasuk ke dalam korelasi cukup (0,25-0,50). Hasil persamaannya adalah $y = 72,767x + 19,623$. Persamaan tersebut menunjukkan adanya korelasi positif (berbanding lurus) antara perubahan

NDVI dengan perubahan garis pantai di Kabupaten Pati. Hal ini ditunjukkan adanya tanda positif (+) di depan koefisien regresi, sehingga jika perubahan garis pantai semakin bertambah (akresi) maka perubahan kerapatan mangrove atau nilai NDVI semakin besar dengan nilai yang cukup.

IV.3.3 Uji F

Hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) dibuat sebelum dilakukan uji F. Berikut ini adalah hipotesis yang dibuat.

H_0 : Tidak ada pengaruh signifikan antara perubahan garis pantai dengan nilai perubahan NDVI

H_1 : Adanya pengaruh signifikan antara perubahan garis pantai dengan nilai perubahan NDVI dengan tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95%, maka nilai $\alpha = 0,05$

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.298	1	.298	14.097	.000 [*]
	Residual	2.075	98	.021		
	Total	2.373	99			

Gambar 13 Hasil perhitungan uji F perubahan NDVI dan perubahan garis pantai

Berdasarkan Gambar 13, diperoleh nilai F hitung sebesar 14,097 dan nilai Sig sebesar 0,000 pada perubahan NDVI. Dasar pengambilan keputusan dalam uji F ada dua cara, yaitu berdasarkan nilai F hitung dan nilai signifikansi.

1. H_0 diterima dan H_1 ditolak, apabila nilai F hitung < f tabel atau jika nilai sig > 0,05
2. H_1 diterima dan H_0 ditolak, apabila nilai F hitung > f tabel atau jika nilai sig < 0,05

Nilai F tabel yaitu sebesar 4,18 dan nilai Sig kurang dari 0,05 artinya H_0 ditolak dan H_1 diterima. Ada pengaruh signifikan antara perubahan garis pantai dengan perubahan kerapatan.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini yakni:

1. Perhitungan perubahan garis pantai dengan algoritma NDVI dan reduksi pasut dengan DEMNAS serta perangkat lunak DSAS dengan metode NSM Kabupaten Pati pada tahun 2017 – 2020 mengalami penambahan garis pantai dengan perubahan rata-rata sebesar 22,260 m.
2. Luas mangrove di wilayah pesisir Kabupaten Pati pada tahun 2017 sebesar 212,955 Ha, sedangkan pada tahun 2020 luasan mangrove di wilayah pesisir Kabupaten Pati sebesar 299,589 Ha. Perubahan luas mangrove dari tahun 2017 sampai 2020 sebanyak 86,634 Ha. Terjadi perbedaan luas yang sangat signifikan dari pengolahan DLHK Jateng. Tahun 2017 terjadi perbedaan luas sebanyak 42,396 Ha. Tahun 2020 terjadi perbedaan luas 51,769 Ha.
3. Hubungan antara perubahan kerapatan mangrove algoritma NDVI dan perubahan garis pantai pada pesisir Kabupaten Pati memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0895 dan koefisien korelasinya (R) sebesar 0,299. Hasil tersebut ditinjau dari tingkat hubungan korelasi

sudah termasuk korelasi cukup. Hasil perhitungan uji F hubungan antara perubahan garis pantai dan kerapatan mangrove memiliki pengaruh signifikan.

V.2 Saran

Berikut adalah beberapa saran yang dapat disampaikan.

1. Pengolahan ekstraksi garis pantai dengan teknologi penginderaan jauh sebaiknya menggunakan citra dengan resolusi yang lebih tinggi agar ekstraksi garis pantai lebih akurat.
2. Penelitian berikutnya dapat menggunakan metode klasifikasi yang lainnya untuk mendapatkan tutupan lahan mangrove yang lebih baik.
3. Penggunaan indeks vegetasi lebih dimaksimalkan lagi dalam penggunaan kanal dari citra.
4. Penggunaan DEM dalam penentuan garis pantai dapat dioptimalkan kembali dengan mencari DEM yang lebih baik.
5. Pengambilan sampel validasi kerapatan mangrove harus memperhatikan standar dari peraturan yang ada untuk hasil lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial. (2018). DEMNAS. <http://tides.big.go.id/>
- Bengen, D. G. (1999). Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Pusat Kajian Sumber Daya Pesisir dan Lautan, Institut Pertanian Bogor.
- Cham, D. D., Son, N. T., Minh, N. Q., Thanh, N. T., & Dung, T. T. (2020). An Analysis of Shoreline Changes Using Combined Multitemporal Remote Sensing and Digital Evaluation Model. *Civil Engineering Journal*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091448>
- Congalton, Russel G, dan Green, K. (2008). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data : Principles and Practices* (2nd Editio). CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Departemen Kehutanan. (2005). Pedoman inventarisasi dan identifikasi lahan kritis mangrove. 13.
- ESA. (2019). Sentinel-2. sentinel.esa.int
- European Space Agency. (2018). Esa Snap Workbook - Slc - Ghrd Product Processing. <https://doi.org/10.1070/SM1993v075n01ABEH003380>
- Gascon, F., Bouzinac, C., Thépaut, O., Jung, M., Francesconi, B., Louis, J., Lonjou, V., Lafrance, B., Massera, S., Gaudel-Vacaresse, A., Languille, F., Alhammoud, B., Viallefont, F., Pflug, B., Bieniarz, J., Clerc, S., Pessiot, L., Trémas, T., Cadau, E., ... Fernandez, V. (2017). Copernicus Sentinel-2A calibration and products validation status. *Remote Sensing*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/rs9060584>
- Ghozali, I. (2013). Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 21 Update PLS Regresi. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., dan Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS- MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289–298. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7)
- Han, J., dan Kamber, M. (2001). *Data Mining: Concepts and Techniques*. Tutorial. Morgan Kaufman Publisher.
- Hasan, M. I. (2008). *Analisis Data Penelitian dengan Statistik*. PT. Bumi Aksara.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., dan Farris, A. S. (2018). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide*. Open-File Report 2018-1179, 126.
- Indarto. (2017). *Penginderaan Jauh Metode Analisis dan Interpretasi Citra Satelit*. Andi.
- Kiefer, dan Lillesand. (1979). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley dan Son.
- Margono. (2004). *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Rineka Cipta.
- Masitha, M. (2017). *Pendugaan Kerapatan Mangrove Dengan Algoritma Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)* Michelia Masitha. Bogor Agricultural.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Nybakken, J. (1993). *Marine Biology, An Ecological Approach* (Third edit). Harper Collins College Publishers.
- Pemerintah Kabupaten Pati. (2019). *Kajian Lingkungan Hidup Strategis : Revisi Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Pati 2010 - 2030*.
- Poerbandono, D. E. (2005). *Survei Hidrografi*. PT. Refika Aditama.
- Purwadh, S. H. (2001). *Interpretasi Citra Digital*. Grasindo.
- Purwandani, A. (2013). *Akresi Pantai*. Zonabmi. <http://www.zonabmi.org/>
- Purwanto, A. D., dan Asriningrum, W. (2019). Identification of Mangrove Forests Using Multispectral Satellite Imageries. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 16(1), 63. <https://doi.org/10.30536/ijreses.2019.v16.a3097>
- Sandy, I. M. (1996). *Pantai dan Wilayah Pesisir*. Geografi Universitas Indonesia.
- Sarwono, J., dan Budiono, H. (2012). *Statistik Terapan Aplikasi Untuk Riset Skripsi, Tesis dan Disertasi (Menggunakan SPSS, AMOS, dan Excel)*. PT. Elex Media Komputindo.
- Setiyono. (1996). *Kamus Oseanografi*. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Siregar, S. (2013). *Statistik Parametrik Untuk Penelitian Kuantitatif*. Penerbit Bumi Aksara.
- Soegiharto, Septikowati, V., Bartolomeus, S., & Hapsari, M. I. (2019). *Informasi Ekosistem Mangrove Jawa Tengah*. LHK Prima.
- Suharso Puguh. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif unuk Bisnis*. Jakarta: PT.
- Remaja Rosida Karya
- Sujarweni, W. (2014). *Metodologi penelitian: Lengkap, praktis, dan mudah dipahami*. PT Pustaka Baru.
- Sulaiman, A., dan Soehardi, I. (2008). *Pendahuluan Geomorfologi Pantai Kuantitatif*. BPPT.
- Tempfli, K. (1991). *DTM and Differential Modeling*, dalam Suharyadi, R., dkk. 2012. *Petunjuk Praktikum Sistem Informasi Geografis : Pedoman Spatial*. Univesitas Gajah Mada.
- Yuwono, N. (1992). *Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai Volume II*. Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.