

**ANALISIS PENGARUH NILAI KEKERUHAN AIR TERHADAP AKURASI
SATELLITE DERIVED BATHYMETRY DENGAN ALGORITMA STUMPF
(STUDI KASUS: PANTAI KARTINI, JAWA TENGAH)
Muhammad Luthfi Ramadhan^{*}, Bandi Sasmito, Firman Hadi**

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

ABSTRAK

Sattelite Derived Bathymetry (SDB) merupakan suatu metode di bidang penginderaan jauh yang digunakan untuk mendapatkan nilai kedalaman perairan dengan perhitungan suatu algoritma. Beberapa algoritma telah dikembangkan dalam upaya menghasilkan nilai kedalaman menggunakan metode SDB ini, salah satunya adalah algoritma Stumpf. Algoritma Stumpf memiliki prinsip penyederhanaan operasi hitungan dalam mengekstraksi nilai kedalaman air menggunakan perbandingan dua faktor reflektansi air pada *band* biru dan *band* hijau yang memiliki kemampuan tingkat penyerapan terhadap badan air yang berbeda. Prinsip tingkat penyerapan pada tiap *band* yang berbeda ini menghasilkan perbedaan rasio antar *band* yang akan mengalami perubahan ketika kedalaman berubah. Namun banyak faktor yang mengakibatkan kesalahan dalam proses pengolahan SDB ini salah satunya pengaruh sifat optis air berupa kekeruhan air. Penelitian ini menganalisis lebih lanjut tentang pengaruh nilai kekeruhan air terhadap akurasi yang dihasilkan dari pengolahan SDB menggunakan perhitungan algoritma Stumpf dengan sumber data citra Landsat-8 OLI/TIRS. Hasil dari pengolahan SDB tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengolahan SDB yang telah ditambahkan dengan variabel kekeruhan air dari proses uji koefisien regresi terhadap nilai simpangan kedalaman dan nilai kekeruhan air. Pengolahan SDB dapat memetakan kedalaman perairan dengan rata-rata ketelitian (RMSE) yang dihasilkan sebesar 1,531 meter. Dengan menambahkan variabel kekeruhan air, hasil pengolahan SDB memiliki akurasi yang lebih baik dan dapat memetakan kedalaman perairan dengan rata-rata ketelitian (RMSE) yang dihasilkan sebesar 1,462 meter.

Kata Kunci: Kekeruhan air, Landsat-8 OLI/TIRS, *Sattelite Derived Bathymetry*, Stumpf.

ABSTRACT

Sattelite Derived Bathymetry (SDB) is a method in the field of remote sensing which is used to obtain water depth values by calculating an algorithm. Several algorithms have been developed in an effort to generate depth values using the SDB method, one of which is the Stumpf algorithm. The Stumpf algorithm has the principle of simplifying the calculation operation in extracting water depth values using a ratio of two water reflectance factors in the blue and green bands because each band has the ability to absorb different water bodies. The principle of the absorption rate in each different band results in a ratio between the bands that will change when the depth change. However, many factors cause errors in the SDB processing, one of which is the influence of the optical properties of water in the form of water turbidity. This study further analyzes the effect of the turbidity value of water on the accuracy generated from SDB processing using the Stumpf algorithm calculation with Landsat-8 OLI / TIRS image data sources. The results of SDB processing are then compared with the results of SDB processing which have been added with the water turbidity variable from the regression coefficient test process on the depth deviation value and the water turbidity value. SDB processing can map the depth of the waters with the resulting average accuracy (RMSE) of 1,531 meters. By adding the water turbidity variable, the results of SDB processing have better accuracy and can map the depth of the waters with an average accuracy (RMSE) of 1,462 meters.

Keywords: Landsat-8 OLI/TIRS, *Sattelite Derived Bathymetry*, Stumpf, Water turbidity.

^{*}) Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Pemetaan batimetri merupakan sebuah kegiatan untuk menyediakan informasi spasial di bidang kelautan sebagai suatu kebutuhan dasar dalam perencanaan, kegiatan dan pengambilan keputusan di bidang kelautan. Tujuan pemetaan batimetri yaitu mengumpulkan data bergeoreferensi yang berhubungan dengan konfigurasi garis pantai, kedalaman perairan, eksplorasi dan eksploitasi terhadap sumber daya yang ada di daerah laut dan pesisir. Pemetaan batimetri juga sangat penting untuk keperluan navigasi keselamatan pelayaran, perencanaan bangunan pesisir, hingga keperluan pertahanan maritim.

Pada umumnya pemetaan batimetri memiliki rangkaian kegiatan yang panjang, mulai dari penentuan posisi untuk memberikan georeferensi terhadap data batimetri, pemeruman untuk mendapatkan nilai kedalaman laut hingga pengamatan pasang surut air laut untuk menentukan datum vertikal.

Pemeruman merupakan sebuah pengukuran kedalaman perairan dengan tujuan untuk mendapatkan gambaran bentuk permukaan dasar perairan (*seabed surface*) yang biasanya menggunakan alat dengan teknologi akustik berupa *echosounder*. Alat ini memanfaatkan gelombang suara yang dipancarkan dan merambat hingga dasar perairan, lalu dipantulkan kembali. Gelombang suara ini menghasilkan nilai amplitudo dari perhitungan waktu ketika gelombang merambat pada medium air lalu dipantulkan kembali dari dasar perairan. Gelombang tersebut kemudian direkam kembali oleh *echosounder* sebagai pantulan balik dan dapat menghasilkan nilai kedalaman dengan akurasi yang tinggi. Namun dalam pengoperasian alat-alat pemeruman ini memerlukan waktu, biaya, tenaga dan sumber daya yang besar. Hal ini tentunya merupakan sebuah tantangan yang besar dalam menyediakan peta batimetri mengingat luasnya wilayah perairan Indonesia dan pentingnya sebuah peta batimetri untuk berbagai keperluan di berbagai bidang keilmuan.

Seiring berkembangnya teknologi, beberapa metode dikembangkan untuk memperoleh data batimetri yang akurat, murah dan efisien. Salah satunya yang saat ini sedang gencar dikembangkan dan diteliti dengan memanfaatkan metode penginderaan jauh yaitu *Satellite Derived Bathymetry* (SDB). SDB merupakan suatu metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai kedalaman perairan melalui perhitungan suatu algoritma dengan memanfaatkan citra multispektral yang membagi *spectrum* panjang gelombang ke dalam beberapa *band* (Jaelani dan Kristina, 2019). SDB juga telah digunakan di beberapa negara dan telah dipublikasikan oleh IHO melalui buku International Hydrographic Organization (IHO)-IOC GEBCO Cook Book Chapter 11.0 tentang *Landsat-8 Satellite Derived Bathymetry* sebagai metode alternatif dalam mendapatkan data kedalaman perairan.

Beberapa algoritma telah dikembangkan dalam upaya menghasilkan nilai kedalaman menggunakan metode SDB ini, salah satunya adalah algoritma Stumpf. Algoritma Stumpf memiliki prinsip penyederhanaan operasi hitungan dalam mengekstraksi nilai kedalaman air menggunakan perbandingan dua faktor reflektansi air pada *band* biru dan *band* hijau karena setiap *band* memiliki kemampuan tingkat penyerapan badan air yang berbeda. Prinsip tingkat penyerapan yang berbeda ini yang menghasilkan perbedaan rasio antar *band* yang akan mengalami perubahan ketika kedalaman berubah. Menurut Stumpf (2003) konsep rasio ini lebih menunjukkan kedalaman yang lebih akurat terutama di perairan dangkal dengan nilai reflektansi yang rendah dibandingkan dengan algoritma lainnya (Irwanto, 2018). Selain itu, dengan membandingkan dua faktor reflektansi air pada *band* dipercaya dapat mengurangi efek albedo pada perairan yang selama ini menjadi masalah dalam pemetaan batimetri (Syaiful, 2019).

Namun banyak faktor yang mengakibatkan kesalahan dalam proses pengolahan SDB ini salah satunya adalah kekeruhan air. Kekeruhan air/*turbidity* merupakan salah satu sifat optis air yang menyebabkan adanya halangan cahaya yang melewati air dari cahaya yang dipancarkan dalam garis lurus menjadi terhambur dan terserap (Fairuz dan Zubir, 2009). Hal ini mengakibatkan transparansi dari air berkurang sehingga arah dari berkas cahaya yang dipancarkan akan berubah ketika cahaya berbenturan dengan partikel di dalam air. Begitu pula dengan gelombang elektromagnetik satelit, nilai kekeruhan air yang tinggi dapat menyebabkan terganggunya proses penetrasi terhadap kolom air dan mengganggu pemantulan kembali gelombang yang telah dipancarkan. Hal tersebut dapat memengaruhi nilai pantulan yang direkam oleh sensor spektrometer serta sensor satelit dan dapat mempengaruhi akurasi dari hasil ekstraksi nilai kedalaman menggunakan metode SDB.

Penelitian ini menganalisis lebih lanjut tentang pengaruh nilai kekeruhan air terhadap akurasi yang dihasilkan dari pengolahan SDB menggunakan perhitungan algoritma Stumpf dengan sumber data citra Landsat-8 OLI/TIRS.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dirumuskan suatu kebutuhan sebagai berikut:

1. Bagaimana akurasi yang dihasilkan dari ekstraksi nilai kedalaman metode SDB dengan perhitungan algoritma Stumpf menggunakan citra Landsat-8 OLI/TIRS jika dibandingkan dengan nilai kedalaman yang dihasilkan dari proses pemeruman di perairan Pantai Kartini, Jawa Tengah?
2. Bagaimana variasi nilai kekeruhan air berdasarkan hasil uji sampel air di Pantai Kartini, Jawa Tengah?

3. Bagaimana pengaruh nilai kekeruhan air terhadap akurasi yang dihasilkan dari ekstraksi nilai kedalaman metode SDB dengan perhitungan algoritma Stumpf?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh nilai kedalaman berdasarkan hasil ekstraksi nilai kedalaman metode SDB dengan perhitungan algoritma Stumpf menggunakan citra Landsat-8 OLI/TIRS.
2. Memperoleh nilai kekeruhan air berdasarkan hasil uji sampel air di Pantai Kartini, Jawa Tengah.
3. Menganalisis pengaruh nilai kekeruhan air terhadap akurasi yang dihasilkan dari ekstraksi nilai kedalaman metode SDB dengan perhitungan algoritma Stumpf menggunakan citra Landsat-8 OLI/TIRS di perairan Pantai Kartini, Jawa Tengah.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar pembahasan dalam penelitian ini memiliki arah yang jelas dan berfokus pada pokok permasalahan, maka dibuatlah ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Pengolahan SDB berpedoman pada buku The IHO-IOC GEBCO Cook Book Chapter 11.0 tentang *Landsat-8 satellite derived bathymetry* yang diterbitkan oleh IHO.
2. Pengolahan SDB menggunakan perhitungan algoritma Stumpf.
3. Data citra satelit yang digunakan adalah citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS C-1 level 1 dengan waktu perkaman disesuaikan dengan waktu pemeruman.
4. Data kedalaman yang digunakan untuk *vertical referencing* dan data pembanding diperoleh dari pemeruman menggunakan *multibeam echosounder*.
5. Akurasi hasil pengolahan SDB dinyatakan dalam bentuk *root mean squared error* (RMSE) dan nilai *Total Vertically Uncertainty* (TVU) sesuai dengan standar IHO.
6. Data kekeruhan air didapatkan dari hasil uji sampel air di lapangan pada lajur pemeruman menggunakan alat *turbidity meter*.
7. Pengujian pengaruh nilai kekeruhan air terhadap akurasi nilai kedalaman metode SDB jika dibandingkan dengan nilai kedalaman hasil pemeruman menggunakan uji koefisien regresi berupa uji t.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Gambaran Umum Daerah Penelitian

Pantai kartini Kartini secara administratif masuk ke dalam wilayah Kecamatan Jepara, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa tengah. Wilayah studi pada perairan Pantai Kartini ini berada pada kisaran koordinat $6^{\circ}35'23,17''$ lintang selatan dan

$110^{\circ}38'45,70''$ bujur timur dengan kedalaman 0-15 meter seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Perairan Pantai Kartini, Jawa Tengah)

Kondisi perairan secara umum perairan pantai kartini mempunyai 3 ukuran jenis butir sedimen berupa pasir, pasir lanauan dan lanau. Pasir terdapat di daerah sekitar pantai di kedalaman 0-3 meter, sedangkan pasir lanauan dan lanau terdapat pada muara sungai dan lepas pantai dengan arah dan pola arus saat pasang ke arah utara dan pada saat surut ke arah barat daya (Aziz, dkk, 2019). Dalam wilayah penelitian juga terdapat beberapa aliran sungai seperti Sungai Wiso, Sungai Kanal dan Sungai Pengandulan yang bermuara di sekitar Pantai Kartini.

II.2 Survei Hidrografi

Menurut *International Hydrographic Organization* (IHO), hidrografi merupakan suatu ilmu yang mencakup tentang pengukuran sekaligus pendeskripsian komponen-komponen yang terdapat di laut dan daerah pesisir untuk keperluan navigasi maupun aktivitas laut lainnya, dimana dalam aktivitas laut tersebut juga meliputi aktivitas lepas pantai, aktivitas perlindungan terhadap lingkungan, aktivitas penelitian dan pengambilan kebijakan di wilayah laut dan daerah pesisir. Untuk keperluan tersebut maka dilakukan survei hidrografi yang merupakan ilmu tentang pengukuran dan penggambaran untuk mendeskripsikan konfigurasi dan sifat dasar perairan secara tepat. Selain itu survei hidrografi juga mencakup hubungan geografi yang berkaitan tentang daratan serta karakteristik dinamika laut.

II.3 Klasifikasi Ketelitian Survei Hidrografi

International Hydrographic Organization (IHO) merupakan suatu organisasi otoritas dunia yang diakui dibidang survei hidrografi dan *charting* yang mengeluarkan aturan-aturan baku dalam survei hidrografi termasuk yang berkaitan tentang standar ketelitian. Terdapat empat orde ketelitian dalam survei hidrografi yang meliputi orde spesial, orde 1a, orde 1b dan orde 2 (IHO, 2008). Ketelitian dalam survei hidrografi didefinisikan ke dalam satuan *Total Vertically Uncertainty* (TVU). Nilai TVU dapat dihitung menggunakan **Rumus (1)**.

$$TVU = \pm \sqrt{(a)^2 + (b \times d)^2} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- a = Koefisien yang tidak dipengaruhi kedalaman
- b = Koefisien yang dipengaruhi oleh kedalaman laut
- d = Kedalaman laut

Ketelitian vertikal maksimal dapat dihitung dengan konstanta tiap orde yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Konstanta *Total Vertically Uncertainty* (IHO *Standarts for Hydrographic Surveys*, 2008)

Orde	a	b
Orde Spesial / khusus	0,25	0,0075
Orde 1a	0,5	0,013
Orde 1b	0,5	0,013
Orde 2	1	0,023

II.4 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan suatu ilmu / teknik / seni untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan kondisi fisik suatu objek yang terekam pada daerah tangkapan tanpa melalui kontak fisik terhadap objek tersebut. Data penginderaan jauh ini dapat memberikan banyak informasi setelah dilakukan proses interpretasi citra. Identifikasi objek tersebut diamati melalui proses interpretasi unsur citra seperti bentuk, ukuran, tekstur, pola, bayangan, asosiasi, situs dan rona / warna (Lestari, 2009). Penginderaan jauh memiliki sebuah sistem dengan komponen tertentu yang saling bekerja sama dalam melakukan interpretasi dengan komponen seperti sumber tenaga, atmosfer, interaksi dengan objek, sensor dan wahana, perolehan data serta penggunaan data.

II.5 Citra Satelit Landsat-8 OLI/TIRS

Satelit Landsat-8 mengorbit dengan ketinggian 705 km dari permukaan bumi dengan area sapuan seluas 170 km x 183 km. Satelit Landsat-8 ini memiliki jumlah kanal sebanyak 11 saluran dengan spesifikasi 9 kanal pada sensor OLI dan 2 kanal pada sensor TIRS. Dalam Landsat-8 OLI/TIRS terpasang spesifikasi saluran baru yang dapat menangkap panjang gelombang lebih rendah jika dibandingkan dengan Landsat-7. Hal ini mengakibatkan Landsat-8 OLI/TIRS dapat lebih sensitif dan unggul dalam mendeteksi perbedaan reflektan air laut atau aerosol. Citra Landsat-8 OLI/TIRS memiliki resolusi spasial 30 meter pada *visible*, *NIR* dan *SWIR band*. Sedangkan pada *band thermal* memiliki resolusi 100 meter dan *band pankromatik* memiliki resolusi sebesar 15 meter (Suwargana, 2013).

II.6 Satellite Derived Bathymetry

Sattelite Derived Bathymetry merupakan sebuah metode dalam bidang penginderaan jauh untuk mendapatkan nilai kedalaman perairan menggunakan perhitungan algoritma tertentu,

khususnya pada citra *multispektral*. Prinsip kerja secara umum dari SDB ini menganalisis perbedaan warna yang diakibatkan oleh perbedaan panjang gelombang elektromagnetik pada *band* citra multispektral di perairan. Daerah perairan dengan kedalaman yang lebih dalam akan tampak lebih gelap jika dibandingkan dengan warna perairan yang lebih dangkal (Irwanto, 2018). SDB menggunakan perpaduan *band* biru, hijau dan inframerah digunakan untuk mendapatkan rasio ketinggian yang dikenal sebagai "*natural logs approach*".

Beberapa algoritma telah dikembangkan dalam upaya mengekstraksi nilai kedalaman menggunakan metode SDB seperti algoritma Lyzenga (1987) dengan metode *water column correction* untuk mengeliminasi kesalahan identifikasi spektral habitat, algoritma Paredes dan spero (1983) dengan metode *generalized ratio assumption*, algoritma Van Hangel dan Spitzer (1991) dengan metode perbandingan nilai radiasi dan nilai kedalaman relatif yang diperoleh dengan matriks transformasi rotasi terhadap nilai panjang gelombang tiap *band*, dan yang baru-baru ini sedang banyak dilakukan pengujian yaitu algoritma Stumpf (2003).

II.7 Algoritma Stumpf

Beberapa algoritma telah dikembangkan dalam upaya mengekstraksi kedalaman menggunakan SDB, salah satunya adalah algoritma Stumpf. Algoritma Stumpf yang ditemukan oleh Richard Stumpf dan Kristine Holderied pada tahun 2003 memiliki prinsip penyederhanaan operasi hitungan dalam mengekstraksi nilai kedalaman air menggunakan perbandingan dua faktor reflektansi air pada *band* biru dan *band* hijau. Prinsip tingkat penyerapan pada tiap *band* yang berbeda ini menghasilkan perbedaan rasio antar *band* yang akan mengalami perubahan ketika kedalaman berubah. Menurut Stumpf (2003) konsep rasio ini lebih menunjukkan kedalaman yang lebih akurat terutama di perairan dangkal dengan nilai reflektansi yang rendah dibandingkan dengan algoritma lainnya (Irwanto, 2018). Selain itu, dengan membandingkan dua faktor reflektansi air pada *band*, dipercaya dapat mengurangi efek albedo pada perairan yang selama ini menjadi masalah dalam pemetaan batimetri (Syaiful, 2019). Persamaan algoritma Stumpf dapat dihitung menggunakan **Rumus (2)**.

$$Z = m_1 \cdot \frac{\ln(R(\lambda_B))}{\ln(R(\lambda_G))} - m_0 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan

- Z : Kedalaman perairan
- m_1, m_0 : Koefisien konstanta model untuk ekstrak nilai kedalaman
- $R(\lambda_B)$: Nilai reflektan dari band biru
- $R(\lambda_G)$: Nilai reflektan dari band hijau

II.8 Regresi Linier Sederhana

Regresi linier merupakan bentuk hubungan atau fungsi antara dua variabel atau lebih dengan terdapat sebuah variabel dependen Y dan sekurang-kurangnya terdapat satu variabel independen X (Yuliara, 2016). Dalam mengetahui hubungan yang sesuai antara variabel independen X dan variabel dependen Y maka kedua variabel tersebut dinyatakan ke dalam nilai kuantitatif dengan skala interval. Adapun bentuk persamaan hubungan regresi linier sederhana ditunjukkan pada **Rumus (3)**.

$$y = a + bx \dots\dots\dots(3)$$

- Keterangan
 y : variabel dependen
 a : *intercept coefficient*
 b : *slope coefficient*
 x : variabel independen

Variabel a dan b merupakan sebuah koefisien regresi linier sederhana dimana a disebut *Intercept coefficient* atau jarak titik acuan dengan titik potong garis regresi dengan sumbu y. Sedangkan b disebut *Slope coefficient* yang menyatakan kemiringan garis regresi terhadap sumbu x. Kualitas dari suatu regresi dapat dilihat dari koefisien determinasi atau biasa disebut dengan *R square* (R^2). Koefisien regresi dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar variabel bebas secara dependen mampu mendefinisikan variabel tak bebas. Nilai R^2 berada pada interval 0-1 dimana semakin mendekati nilai 1 maka semakin baik estimasi model menggambarkan data tersebut.

II.9 Teknik Pengambilan Sampel

Secara garis besar teknik pengambilan sampel merupakan sebuah teknik atau strategi yang digunakan untuk mengambil perwakilan dari suatu populasi untuk mencapai suatu tujuan yang ingin dicapai. Dalam teknik pengambilan sampel ini secara umum dibagi teknik sampling secara probabilitas dan nonprobabilitas. Teknik sampling secara probabilitas merupakan sebuah teknik pengambilan sampel yang memungkinkan seluruh anggota populasi mendapatkan kesempatan untuk terpilih sebagai sampel. Hal ini diharapkan sampel yang diperoleh menjadi representatif atas seluruh anggota populasi. Teknik sampling ini dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya menggunakan teknik sampling sistematis, teknik sampling secara kluster maupun *disproportionate stratified random sampling*. Sedangkan untuk pengambilan sampel secara nonprobabilitas, kesempatan yang diperoleh bagi setiap unsur populasi tidaklah sama. Adapun cara pengambilan sampling ini menggunakan penarikan sampel secara kuota, sampel secara purposive, accidental sampling, maupun penarikan sampel secara bola salju / *snow ball sampling*.

Pada penelitian ini untuk teknik pengambilan sampel kedalaman menggunakan teknik *disproportionate stratified random sampling* dimana

di dalam teknik pengambilan sampel ini sifat dari suatu populasi tidak homogen dan mempunyai strata yang kurang proposional. Hal ini menyesuaikan dengan keadaan dilapangan dimana titik kedalaman untuk proses *vertical referencing* dan uji akurasi memiliki populasi yang beragam dan strata yang kurang proposional. Untuk pengambilan sampel air menggunakan teknik sampling secara kluster berdasarkan pada kelas kedalaman perairan. Teknik ini biasa digunakan di daerah yang memiliki sumber data yang sangat luas dari segi populasinya.

II.10 Nilai Kekeruhan Air

Nilai kekeruhan air adalah suatu ukuran kualitas dari keadaan air baku yang dinyatakan dalam skala kekeruhan air seperti *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Nilai tersebut didapatkan dengan melihat efek cahaya yang terkandung dalam air, kemudian dinyatakan dalam satuan turbiditas setara dengan 1 mg/liter SiO₂. Kekeruhan ini dapat terjadi akibat adanya suatu komponen yang tercampur ke dalam air, hal ini membuat perbedaan dari segi estetika maupun dari segi kualitas air (Effendi, 2003)

Peningkatan nilai kekeruhan akan sebanding dengan peningkatan konsentrasi padatan tersuspensi dan berbanding terbalik dengan nilai kecerahan perairan. Keberadaan padatan tersuspensi di perairan dapat mempengaruhi intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam kolom air sehingga terjadi adanya absorpsi cahaya matahari dan bahan-bahan terlarut. Selain itu juga dapat terjadi pembiasan cahaya yang diakibatkan oleh padatan tersuspensi dan kekeruhan di dalam air.

II.11 Uji Koefisien Regresi (uji t)

Uji koefisien regresi ini digunakan untuk mengetahui apakah variabel independen X berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen Y dalam persamaan regresi. Uji koefisien regresi ini dapat digunakan untuk menguji tingkat kebenaran suatu hipotesis yang menggambarkan dua buah sampel dimaksudkan untuk melihat apakah suatu hipotesis yang diajukan ditolak atau dapat diterima (Yuliara, 2016). Uji koefisien regresi ini dapat dianalisis dengan menghitung nilai t terlebih dahulu dengan cara menentukan hipotesis dan menentukan tingkat signifikansi. Nilai t hitung akan dibandingkan ke dalam t tabel sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya. Hipotesis 1 (H_1) akan diterima apabila $t_{hitung} > t_{tabel}$. Sedangkan hipotesis 0 (H_0) diterima apabila $t_{hitung} < t_{tabel}$. Tingkat signifikansi menggunakan nilai 5% atau 0,05 sesuai dengan yang sering digunakan dalam penelitian.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Data – Data Penelitian

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Penelitian

No	Data	Sumber	Waktu Akuisisi
1	Data citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS C-1 level 1.	Web <i>United States Geological Survey</i> (USGS)	Agustus 2020
2	Data kedalaman perairan.	Hasil survei lapangan oleh Aulia Hafiz	Agustus 2020
		Hasil survei lapangan oleh Naufal Maziakiko Pratanazal	Agustus 2020
3	Sampel air lapangan.	Hasil survei lapangan	Agustus 2020

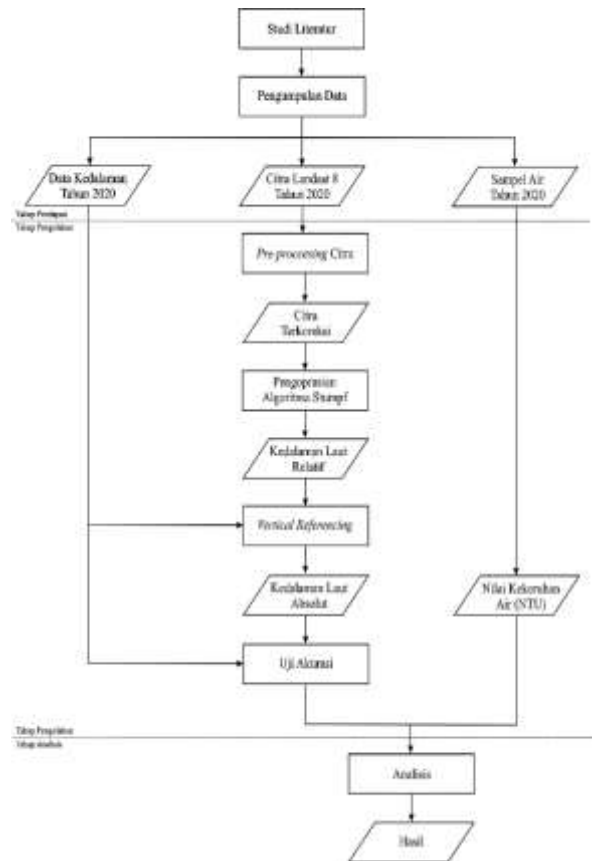
III.2 Alat – Alat Penelitian

Berikut adalah alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Perangkat keras (*hardware*)
 - a. Laptop lenovo ideapad 310.
 Processor/CPU : Intel Core i5-7200U
 RAM : 8 GB DDR4
 Storage : HDD 1 TB
 Sistem Operasi : Windows 10
 - b. GPS handheld.
 - c. Water sampler.
 - d. Turbidity meter.
2. Perangkat Lunak (*software*)
 - a. ENVI Classic 5.3.
 - b. ArcGIS 10.3.
 - c. Microsoft Excel 2013.
 - d. Microsoft Word 2013.
 - e. Minitab 2018.

III.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

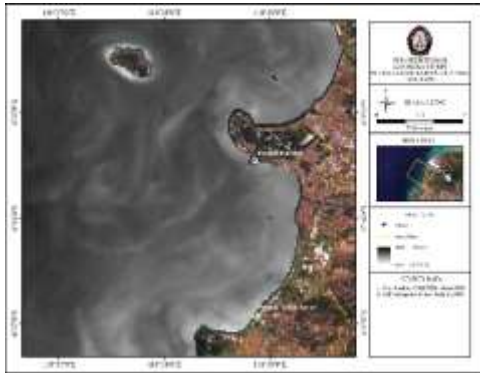
Secara garis besar dalam penelitian dibagi menjadi tahap persiapan yang meliputi studi literatur dan pengumpulan data, tahap pengolahan meliputi pengolahan citra landsat-8, data kedalaman dan pengolahan sampel air lapangan, tahap analisis meliputi uji akurasi hasil pengolahan SDB dan pengaruh nilai kekeruhan air terhadap akurasi SDB.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Pengolahan *Satellite Derived Bathymetry*

IV.1.1 Perhitungan Algoritma Stumpf

Perhitungan algoritma Stumpf pada dasarnya melihat perubahan rasio pada *band 2-blue* dan *band 3-green* dengan mengaplikasikan Rumus (2) terhadap citra Landsat-8 yang telah melewati proses *preprocessing*. Hasil perhitungan algoritma Stumpf dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Perhitungan Algoritma Stumpf

Perhitungan algoritma Stumpf menghasilkan nilai kedalaman relatif dengan rentang nilai *pixel* dari 0,997512 hingga 1,02069.

IV.1.2 Hasil Vertical Referencing

Proses *vertical referencing* bertujuan untuk mengubah *pixel value* kedalaman relatif menjadi nilai kedalaman absolut dengan satuan kedalaman perairan dengan melakukan regresi untuk mendapatkan persamaan antara *pixel value* kedalaman relatif dengan nilai kedalaman hasil pengukuran *echosounder*. Sebaran titik *vertical referencing* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sebaran Titik Vertical Referencing

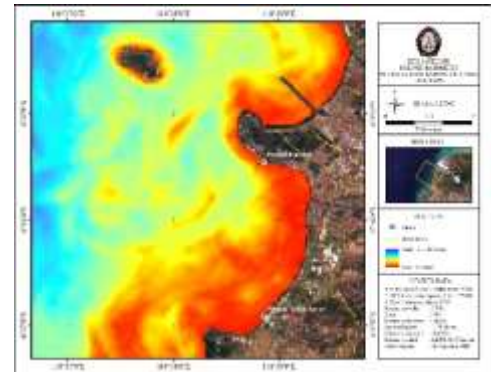
Untuk mendapatkan persamaan regresi yang akan digunakan dalam proses *vertical referencing* maka dilakukan regresi linier terhadap data kedalaman *echosounder* dengan *pixel value* yang telah melewati proses *filtering* untuk mendapatkan hasil regresi yang bagus dan menghilangkan kemungkinan pendefinisian terhadap *pixel value* yang sama. Regresi linier dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Persamaan Regresi Linier Algoritma Stumpf

X	Persamaan regresi	R Square
<i>Pixel value</i>	$Y = 2129.2x - 2152.3$	0,858

Nilai *R square* merupakan nilai koefisien determinasi sebagai hubungan variabel independen terhadap variabel dependen dimana hal tersebut menunjukkan kualitas dari persamaan regresi tersebut. Hasil dari *R square* pada persamaan di atas menghasilkan nilai 0,858 yang menunjukkan bahwa

regresi yang dihasilkan cukup baik. Untuk mendapatkan nilai kedalaman absolut dalam satuan meter, persamaan regresi diaplikasikan kedalam citra hasil perhitungan algoritma Stumpf. Hasil proses *vertical referencing* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Satellite Derived Bathymetry

Hasil proses *vertical referencing* menghasilkan nilai kedalaman yang berkisar antara 0-17,748 meter dengan pendefinisian warna merah merupakan kedalaman yang lebih dangkal, sedangkan warna kuning dan biru menunjukkan kedalaman semakin dalam.

IV.2 Hasil Pengolahan Sampel Air Lapangan

Penentuan titik pengambilan sampel menggunakan teknik sampling secara kluster berdasarkan pada kelas kedalaman perairan mengikuti lajur pemeruman. Teknik ini biasa digunakan di daerah yang memiliki sumber data yang sangat luas dari segi populasinya. Peta sebaran titik sampel air dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sebaran Titik Sampel Air

Hasil pengujian sampel air sebanyak 30 titik di perairan Pantai Kartini menggunakan alat *turbidity meter* menghasilkan nilai kekeruhan air dalam satuan NTU yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Kekeruhan Air

NO	Kekeruhan (NTU)	Simpangan Kedalaman (m)	X	Y
1	2,81	0.060656	461318	9270723
2	7,80	3.37651	462108	9273233
3	3,67	1.461292	461138	9270573

4	7,75	3.701947	459508	9268903
5	6,33	2.266698	461078	9269783
6	4,31	1.559697	461118	9270083
7	7,03	3.762782	459458	9268803
8	3,85	0.816956	461078	9270353
9	8,99	4.354502	460578	9269273
10	7,83	3.648899	460568	9269663
11	4,87	1.915127	459428	9268563
12	3,86	1.126743	459488	9268303
13	8,81	4.246742	460148	9272173
14	6,32	2.754638	461568	9273163
15	3,34	0.515111	460218	9272733
16	4,57	1.279062	460758	9273133
17	3,58	1.371722	459708	9271813
18	3,51	0.953404	459328	9272213
19	4,34	1.698806	459478	9272393
20	3,36	0.964058	458768	9272273
21	3,72	1.081382	459798	9272703
22	3,08	0.595654	458878	9272393
23	1,97	0.56126	458458	9272443
24	2,67	0.379697	459228	9272603
25	3,49	1.024016	458828	9272513
26	3,32	0.092161	457818	9272383
27	2,85	0.907825	458258	9272253
28	2,69	0.365758	457838	9272523
29	3,55	0.997244	458228	9272603
30	3,42	0.499847	457648	9272603

Hasil pengujian sampel air pada kedalaman 0-3 meter memiliki rata-rata nilai kekeruhan sebesar 5,671 NTU, untuk kedalaman 3-6 meter sebesar 6,361 NTU, untuk kedalaman 6-9 meter sebesar 3,774 NTU, sedangkan untuk kedalaman 9-12 meter memiliki rata-rata nilai kekeruhan air sebesar 3,004 NTU. Nilai kekeruhan yang lebih tinggi pada kedalaman 3-6 meter diduga berasal dari hilir sungai ada disekitar wilayah penelitian.

IV.3 Hasil Uji Akurasi SDB

Dalam tahap uji akurasi ini dilakukan pemilihan titik-titik kedalaman hasil pengukuran *echosounder* dengan menggunakan teknik *disproportionate stratified random sampling* untuk mendapatkan wilayah yang dapat mewakili karakteristik pada daerah tersebut. Titik kedalaman hasil pengukuran dibuat berbeda dengan titik kedalaman yang digunakan dalam *vertical referencing* untuk mendapatkan hasil uji akurasi yang lebih *valid*.

Sebaran titik kedalaman yang digunakan dalam tahap uji akurasi dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Sebaran Titik Uji Akurasi

Dalam menganalisis akurasi yang dihasilkan dari pengolahan SDB, peneliti menggunakan nilai RMSE dan TVU sesuai dengan standar ketelitian survei hidrografi. Hasil dari uji akurasi dari pengolahan SDB dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Uji Akurasi SDB

Kedalaman (Meter)	Jumlah Data	Jumlah Masuk Orde (%)			Jumlah Tidak Masuk Orde (%)	Nilai RMSE
		Spesial	1a/1b	2		
keseluruhan	15874	20,897	36,079	68,894	31,106	1,531
0-3	1411	5,740	15,683	32,534	67,466	2,294
3-6	2247	7,024	14,174	30,064	69,936	2,427
6-9	4760	14,609	33,678	67,895	32,105	1,325
9-12	5120	29,589	46,082	74,436	25,564	1,264
> 12	2336	22,840	45,872	78,748	21,252	1,227

Pengolahan SDB menggunakan algoritma Stumpf dapat memetakan kedalaman perairan dengan rata-rata ketelitian (RMSE) yang dihasilkan sebesar 1,531 meter dengan jumlah titik uji sebanyak 15874 titik. Pada pengujian terhadap keseluruhan data dengan nilai TVU, hasil pengolahan SDB menghasilkan 20,897% masuk ke dalam orde spesial, 36,079% masuk ke dalam orde 1a/1b dan sebanyak 68,894% masuk ke dalam orde 2. Sedangkan sebanyak 31,106% tidak masuk ke dalam orde yang telah ditetapkan IHO.

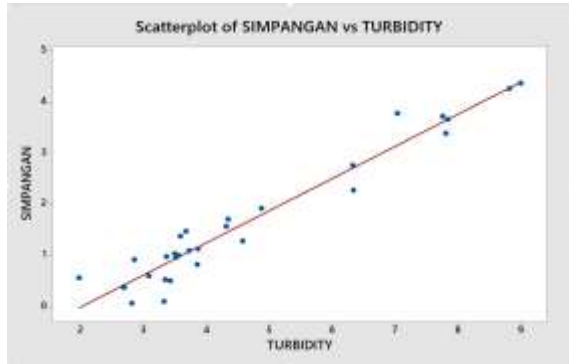
IV.4 Hasil Analisis Pengaruh Nilai Kekeruhan Air Terhadap Akurasi SDB

Analisis pengaruh kekeruhan air terhadap akurasi SDB menggunakan uji koefisien regresi. Uji koefisien regresi menggunakan uji t untuk menguji tingkat kebenaran suatu hipotesis yang menggambarkan dua buah sampel. Adapun hipotesis yang dibuat untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

- H₀ = Menyatakan nilai simpangan tidak di pengaruhi oleh kekeruhan.
- H₁ = Menyatakan nilai simpangan dipengaruhi oleh kekeruhan.

Dasar pengambilan keputusan uji koefisien regresi dilakukan berdasarkan perbandingan nilai t hitung dan t tabel. Apabila dalam uji t menghasilkan $t_{hitung} > t_{tabel}$, maka H₀ ditolak dan H₁ diterima yang

menyatakan bahwa nilai simpangan kedalaman dipengaruhi oleh kekeruhan air. Apabila $t_{hitung} < t_{tabel}$, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak yang menyatakan bahwa nilai simpangan kedalaman tidak dipengaruhi oleh kekeruhan air. Adapun grafik regresi yang dihasilkan dari perbandingan simpangan nilai kedalaman perairan hasil pengolahan SDB dan nilai kedalaman hasil pengukuran *echosounder* dengan kekeruhan air dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Grafik Regresi Hubungan Simpangan Kedalaman dengan Kekeruhan Air

Berdasarkan grafik diatas, secara keseluruhan simpangan kedalaman yang dihasilkan dari perbandingan nilai kedalaman perairan hasil pengolahan SDB dengan nilai kedalaman hasil pengukuran *echosounder* akan semakin bertambah ketika nilai kekeruhan air juga bertambah. Adapun hasil uji koefisien terhadap regresi tersebut dapat dilihat pada **Tabel 6**.

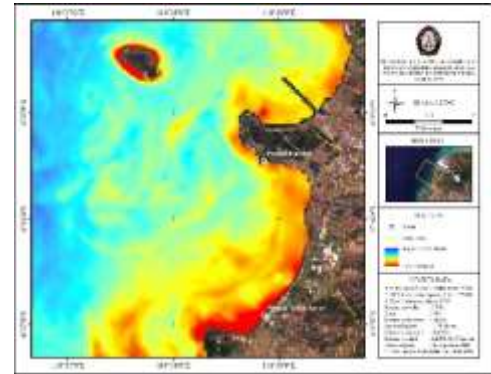
Tabel 6. Hasil Uji Koefisien Regresi

Koefisien	Nilai
<i>S</i>	0,315292
<i>R Square</i>	94,24%
<i>T value</i>	21,41
<i>P value</i>	0,000
Persamaan Regresi	$Y = -1,265 + 0,6266x$

Berdasarkan hasil uji koefisien regresi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa nilai t hitung pada persamaan yang dihasilkan antara nilai simpangan dan nilai kekeruhan air sebesar 21,41. Data t hitung tersebut dibandingkan dengan nilai t tabel distribusi t dengan derajat bebas $N-2$ dengan jumlah N sebanyak 30 data dan dengan tingkat signifikansi 0,05. Dari hasil perhitungan t tabel didapatkan nilai sebesar 2,042.

Dari penjabaran di atas menunjukkan bahwa uji koefisien regresi menghasilkan nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima yang menyatakan bahwa nilai simpangan dipengaruhi oleh kekeruhan. Dari analisis regresi tersebut juga dapat disimpulkan bahwa tiap kenaikan satu angka kekeruhan akan mengakibatkan kenaikan sebesar 0,6266 terhadap nilai simpangan.

Proses pengaplikasian ke dalam perhitungan SDB dengan cara menjumlahkan variabel kekeruhan air tersebut kedalam citra hasil perhitungan algoritma Stumpf yang diambil dari persamaan regresi. Hasil pengolahan SDB dengan penambahan variabel kekeruhan air dapat dilihat pada **Gambar 9**



Gambar 9. Peta *Satellite Derived Bathymetry* dengan Penambahan Variabel Kekeruhan Air

Dari pengaplikasian variabel persamaan nilai kekeruhan air tersebut menghasilkan peta SDB baru dengan kedalaman berkisar antara 0-18,381 meter. Untuk menganalisis hasil akurasi nilai kedalaman yang dihasilkan dari penambahan variabel kekeruhan tersebut. Hasil uji akurasi pengolahan SDB yang ditambah dengan variabel kekeruhan air dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Uji Akurasi SDB Dengan Penambahan Variabel Kekeruhan Air

Kedalaman (Meter)	Jumlah Data	Jumlah Masuk Orde (%)			Jumlah Tidak Masuk Orde (%)	Nilai RMS E
		Spesial 1	1a/1b	2		
Keseluruhan	15874	21,416	38,969	70,514	29,486	1,462
0-3	14118	9,345	20,427	40,908	59,092	2,158
3-6	22471	10,713	16,371	37,550	62,450	2,251
6-9	47607	22,574	42,785	70,031	29,969	1,217
9-12	51208	28,697	52,142	78,189	21,811	1,168
> 12	23367	27,436	50,642	83,307	16,693	1,097

Dengan menambahkan variabel kekeruhan air, hasil yang didapatkan dari pengolahan SDB memiliki akurasi yang lebih baik dan dapat memetakan kedalaman perairan dengan rata-rata ketelitian (RMSE) yang dihasilkan sebesar 1,462 meter dengan jumlah titik uji sebanyak 15874 titik. Pada pengujian terhadap keseluruhan data dengan nilai TVU, hasil pengolahan SDB dengan menambahkan variabel kekeruhan air menghasilkan 21,416% masuk ke dalam orde spesial, 38,969% masuk ke dalam orde

1a/1b dan sebanyak 70,586% masuk ke dalam orde 2. Sedangkan sebanyak 29,414% tidak masuk ke dalam orde yang telah ditetapkan IHO.

Berdasarkan nilai kedalaman yang dihasilkan dari pengolahan SDB, maka dapat dibuat peta kontur yang dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Peta Kontur *Satellite Derived Bathymetry*

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil dari pengolahan *satellite derived bathymetry* dengan algoritma Stumpf menggunakan citra Landsat-8 OLI/TIRS dapat memetakan kedalaman perairan dengan rata-rata ketelitian (RMSE) yang dihasilkan sebesar 1,531 meter dengan jumlah titik uji sebanyak 15874 titik. Pada pengujian terhadap keseluruhan data dengan nilai TVU, hasil pengolahan SDB menghasilkan 20,897% masuk ke dalam orde spesial, 36,079% masuk ke dalam orde 1a/1b dan sebanyak 68,894% masuk ke dalam orde 2. Sedangkan sebanyak 31,106% tidak masuk ke dalam orde yang telah ditetapkan IHO.
2. Variasi nilai kekeruhan air berdasarkan hasil pengujian sampel air di kedalaman 0-3 meter memiliki rata-rata nilai kekeruhan sebesar 5,671 TVU, untuk kedalaman 3-6 meter sebesar 6,361 TVU, untuk kedalaman 6-9 meter sebesar 3,774 TVU, sedangkan untuk kedalaman 9-12 meter memiliki rata-rata nilai kekeruhan air sebesar 3,004 TVU.
3. Dengan menambahkan variabel kekeruhan air, hasil yang didapatkan dari pengolahan *satellite derived bathymetry* memiliki akurasi yang lebih baik dan dapat memetakan kedalaman perairan dengan rata-rata ketelitian (RMSE) yang dihasilkan sebesar 1,462 meter dengan jumlah titik uji sebanyak 15874 titik. Pada pengujian terhadap keseluruhan data dengan nilai TVU, hasil pengolahan SDB dengan menambahkan variabel kekeruhan air menghasilkan 21,416% masuk ke dalam orde spesial, 38,969% masuk ke dalam orde 1a/1b dan sebanyak 70,586% masuk ke dalam orde 2. Sedangkan sebanyak 29,414%

tidak masuk ke dalam orde yang telah ditetapkan IHO.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, berikut adalah saran yang dapat dipergunakan untuk penelitian selanjutnya :

1. Pemilihan citra yang digunakan dalam penelitian sebaiknya lebih memperhatikan awan dan *haze* agar tidak menyebabkan *noise* atau kesalahan interpretasi terhadap pengolahan *satellite derived bathymetry*.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan sumber data citra dengan resolusi yang lebih tinggi atau dengan citra hiperspektral agar dapat dilakukan perbandingan hasil pengolahan SDB.
3. Untuk mendapatkan regresi yang baik, usahakan nilai R^2 dari regresi yang dilakukan memiliki kisaran nilai yang lebih dari 0,5 agar hasil yang mendapatkan akurasi yang baik.
4. Untuk data batimetri sebaiknya menggunakan data yang memenuhi standar dan mencakup area yang akan diteliti.
5. Dilakukan penelitian pengaruh sifat optis air lainnya terhadap akurasi *satellite derived bathymetry*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, Syafiq Muhammad., dkk. 2019. *Pola Arus dan Sebaran Sedimen Dasar di Perairan Jepara*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Badan Standardisasi Nasional. 2010. *Survei hidrografi menggunakan singlebeam echosounder SNI 7646-2010 Survei Hidrografi*. Jakarta: BSN.
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fairuz, A., dan Zubir, M. 2009. *Turbidimeter Design and Analysis : A Review on Optical Fiber Sensors for the Measurement of Water Turbidity Sensor*. MDPI.
- IHO. 2007. *Hydrographic Dictionary*. Monaco: International Hydrographic Bureau.
- IHO. 2008. *IHO Standards for Hydrographic Surveys 5th Edition, Special Publication No. 44*. Monaco
- IHO, I. H. O., & IOC, I. O. C. 2018. *B-11, The IHO-IOC GEBCO Cook Book*. Diperoleh melalui <https://www.iho.int> diakses pada 16 Februari 2020.
- Irwanto, Dhani. 2018. *Perkiraan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Landsat-8*. Bogor: PT Indonesia Hydro Consult.
- Jaelani, Lalu Muhamad dan Kristina Putri. 2019. *Analisis Kemampuan Citra Satelit Pleiades-1B Dalam Mengestimasi Kedalaman Perairan Gili Iyang Dengan Menerapkan GWR*. Surabaya: Departemen Teknik Geomatika, ITS.

- Lestari, W. 2009. *Pemanfaatan Citra Ikonos Untuk Pendataan Objek Pajak Bumi dan Bangunan Di Kecamatan Jebres Kota Surakarta*. Surakarta: USM.
- Stumpf, RP., Holderied K, Sinclair M. 2003. *Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types*.
- Suwargana, Nana. 2013. *Resolusi Spasial, Temporal dan Spektral Pada Citra Satelit Landsat, SPOT dan IKONOS*. Jurnal ISSN 2337-6686 Volume 1 Nomor 2 Juli-Agustus 2013.
- Syaiful, Surya N., dkk. 2019. *Analisis Digital Citra Satelit WorldView-2 untuk Ekstraksi Kedalaman Perairan Laut di Sebagian Perairan Pulau Parang, Kepulauan Karimun Jawa, Provinsi Jawa Tengah*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Yuliara, I Made. 2016. *Modul Regresi Linier Sederhana*. Bali: Univeritas Udayana.