

PEMETAAN BATIMETRI DI PERAIRAN DANGKAL MENGGUNAKAN DATA PENGINDERAAN JAUH SPOT-7 (STUDI KASUS LEMBAR-LOMBOK)

Adi Yudha Nugraha¹, Bayu Prayudha², Ahmad Lufti Ibrahim³, Nur Riyadi⁴

¹Mahasiswa Program Studi S1 Hidros, STTAL

²Peneliti dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, LIPI

³Dosen Pengajar Prodi D-III Hidro-Oseanografi, STTAL

⁴Dosen Pengajar Prodi S1 Hidrografi, STTAL

ABSTRAK

Keunggulan memanfaatkan indera untuk pemetaan batimetri yang lebih efektif dan efisien dibanding metode lainnya. Batimetri juga termasuk kedalam suatu sistem dinamis yang rentan akan perubahan, sehingga teknologi indera merupakan solusi alternatif yang tepat secara tepat dan berkala untuk merevisi peta batimetri yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan batimetri perairan dangkal Lembar Lombok, menggunakan citra Spot-7 dengan mengaplikasikan metode Water Depth Relatif algoritma Stumpf & Holderied (2003). Salah satu ketentuan teknis yang berlaku internasional yaitu ketentuan IHO (International Hydrographic Organization) dalam publication-C13 yaitu metode Kontrol kualitas terhadap data batimetri, agar diketahui sejauh mana kualitas data batimetri tersebut. Kontrol kualitas data batimetri adalah suatu prosedur untuk memastikan bahwa produk telah memenuhi suatu standar survei hidrografi dan spesifikasi yang ditetapkan. Nilai orde yaitu 67% orde khusus, 0% orde 1A/1B, 0% orde 2 dan tidak masuk 32%. Nilai kedalaman yang dipakai adalah nilai kedalaman hasil dari persamaan regresi terbaik yang dilihat dari nilai koefisien determinasi, koefisien korelasi dan nilai RMS error. Uji akurasi model Relatif Water Depth menghasilkan nilai R² sebesar 0,4696, R sebesar 0,6853 dan RMSE 2,055377848. Tingkat akurasi peta batimetri hasil estimasi mencapai 78,77%.

Kata Kunci : Batimetri, Perairan Dangkal, Standar Minimum Survei Hidrografi (IHO), Algoritma Stumpf & Holderied, Spot-7.

ABSTRACT

The advantages of using remote sensing for bathymetric mapping are more effective and efficient than other methods. Bathymetry is also included in a dynamic system that is susceptible to change, so that remote sensing technology is the best alternative fast and precise for alternative solution to revision the existing bathymetric map. This research aims to mapping of shallow water bathymetry at Lembar, Lombok Waters, using the Spot-7 imagery by applying WaterDepth Relatif algoritma Stumpf & Holderied (2003). One of the internationally accepted technical provisions of IHO (International Hydrographic Organization) in publication-C13 is the method of quality control over bathymetry data, to be known the bathymetry data quality. Bathymetric data quality control is a procedure to ensure that the product has reached the hydrographic survey standard and specified specifications. Order value is 67% special order, 0% order 1A / 1B, 0% order 2 and not enter 32%. Depth value used is the value of the depth of the results of the best regression equation seen from the coefficient of determination, correlation coefficient and RMS error. The accuracy test of Water Depth Relative Model result in values R² of 0.4696, R of 0.6853 and RMSE of 2.055377848. The estimation results of bathymetric map Level of accuracy are reached 78.77%.

Key Words: Batimetry, Shallow Waters, Minimum Standard of Hydrographic Survey (IHO), Algorithm Stumpf&Holderied, Spot-7.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salad sate Negara kepulauan yang memiliki kondisi dan karakter geografis perairan yang sangat luas. Hal tersebut ditandai dengan banyaknya pulau dengan jumlah pulau sebanyak 17.499 pulau (Pushidros TNI-AL, 2015) dan panjang garis pantai hingga \pm 81.290 kilometer (Pushidros TNI-AL, 2015). Oleh karena itu, sangat penting bagi TNI AL dalam hal ini Pusat Hidro-Oseanografi TNI AL merupakan salah satu lembaga yang memiliki tugas menyediakan Peta Laut untuk kepentingan keselamatan pelayaran.

Penginderaan jauh atau inderaja (*remote sensing*) adalah seni dan ilmu untuk mendapatkan informasi tentang obyek, area atau fenomena melalui analisa terhadap data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung dengan obyek, daerah ataupun fenomena yang dikaji (*Lillesand dan Kiefer, 2004*).

Dalam terapannya secara operasional penggunaan data penginderaan jauh juga memiliki kelebihan antara lain memberikan data spesifik yang terkadang tidak dapat diberikan dari sumber data lainnya, pengumpulan data citra satelit dengan hasil yang lebih cepat dan murah serta memungkinkan pengumpulan data pada medan yang sulit (*Howard, 1991*).

Perkembangan penginderaan jauh semakin cepat seiring dengan kemajuan teknologi dirgantara. Sebelumnya penginderaan jauh lebih banyak menggunakan pesawat udara dan balon udara dalam perekaman data permukaan bumi, tetapi seiring dengan perkembangan teknologi antariksa untuk berbagai kepentingan termasuk didalamnya perekaman permukaan bumi, maka penginderaan jauh sudah memanfaatkan wahana satelit. Satelit Spot-7 diluncurkan pada tanggal 30 Juni 2014 yang lalu di *Satish Dhawan Space Center – India*, menggunakan roket pengangkut *PSLV (Polar Satellite Launch Vehicle) C23*.

Sensor *NAOMI (New AstroSat Optical Modular Instrument)* bekerja pada panjang gelombang kanal spectral lebih lebar dari pada kanal Pankromatik Spot-4 dan Spot-5, yakni 0,450 - 0,745 μm . Sedangkan kanal Multispektral dengan resolusi spasial 6 m terdiri dari kanal spektral biru (0,450 -

0,520 μm), hijau (0,530-0,590 μm), merah (0,625 - 0,695 μm) dan band NIR (0,760 - 0,890 μm). Spot-6/7 merupakan satelit generasi Spot pertama yang mempunyai kanal spektral warna biru. Kanal spektral biru berpotensi mempertegas batas tepi pantai, sedimentasi laut dan mendeteksi terumbu karang yang sulit dideteksi oleh kanal multispektral lainnya. (LAPAN. 2014).

Penelitian ini dilakukan di Lembar Kab. Lombok Barat NTB pada peta laut no. 292 edisi Juli 2013, lokasi ini dipilih dengan pertimbangan wilayah tersebut merupakan perairan dangkal yang memiliki peran penting untuk keselamatan pelayaran serta aktivitas kelautan.

Berdasarkan pada uraian yang telah dijelaskan di atas

maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. mendapatkan data batimetri dari citra penginderaan jauh Spot-7
2. mengetahui tingkat akurasi data batimetri yang dihasilkan dari citra pengindraan jauh Spot-7.

TINJAUAN PUSTAKA

Metode pengukuran batimetri laut saat ini banyak menggunakan metode akustik yang biasa disebut dengan pemeruman. Gelombang akustik sangat efektif digunakan pada penentuan kedalaman air laut, karena gelombang akustik merambat optimal pada medium air dibandingkan medium udara. Pada prinsipnya pengukuran *singelbeam echosounder* yang digunakan adalah pengukuran selisih fase pulsa. Teknik pengukuran yang digunakan selisih fase pulsa merupakan fungsi dari selisih pulsa waktu pemancaran dan penerimaan pulsa akustik serta sudut datang dari sinyal tiap tranduser. Persamaan 2.1 adalah persamaan kedalaman *singlebeam echosounder* yang merupakan fungsi dari selang waktu:

$$D = \frac{1}{2} * V * \Delta t \dots \dots \dots \text{Persamaan 2.1}$$

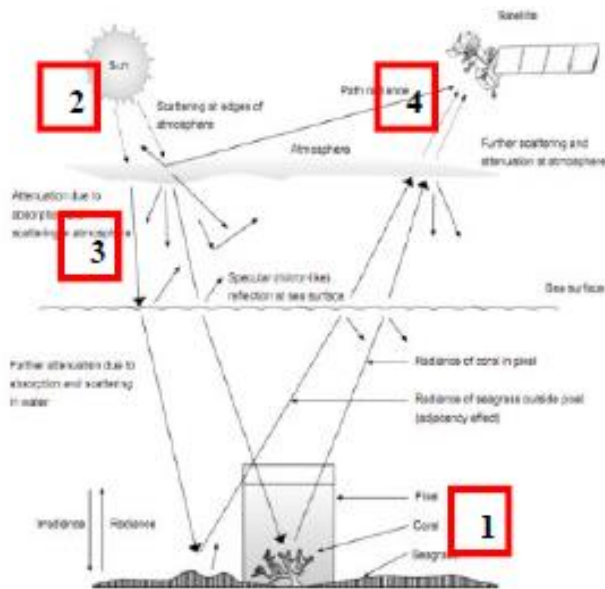
Keterangan:

D : Kedalaman yang diukur.

V : Cepat rambat gelombang akustik.

Δt : Selang waktu antara saat gelombang akustik yang dipancarkan dengan saat penerimaan kembali gelombang pantulnya.

Teknologi penginderaan jauh melakukan penyadapan informasi titik kedalaman di perairan dangkal memanfaatkan panjang gelombang yang memiliki respon spektral baik terhadap obyek perairan dan dapat menembus perairan hingga kedalaman tertentu. Penginderaan jauh menurut Lillesand & Kiefer (2003) adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi mengenai objek, daerah atau gejala dengan cara menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung dengan objek tersebut. Berdasarkan definisi tersebut, maka system penginderaan jauh dapat dibedakan menjadi empat komponen dasar yaitu (1) target, (2) sumber energi, (3) alur transmisi, dan (4) sensor (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Sistem Penginderaan Jauh
Sumber : Edmund, et al. (2000)

Karakteristik citra satelit spot-7, Sistem satelit Perancis yang dinamakan SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) merupakan sistem komersial resolusi tinggi observasi Bumi pencitraan optik satelit yang beroperasi dari ruang angkasa. Hal ini diprakarsai oleh CNES (*Centre D'Nasional Études Spatiales* – Badan Antariksa Perancis) pada tahun 1970 dan dikembangkan dalam hubungan dengan SSTC (*Belgian scientific, technical and cultural services*) dan SNSB (*Swedish National Space Board* – Badan Antariksa Nasional Swedia).

Spesifikasi Teknis Satelit Spot-7

Rangkuman Spesifikasi Teknis Satelit Spot-7	
Resolusi Spasial	1.5 meter (Moda Pankromatik)
	6 meter (Moda Multispektral)
Band Citra Satelit Moda Pankromatik	1 Band (Pankromatik : 450 – 745 nm)
Band Citra Satelit Moda Multispektral	4 Band <ul style="list-style-type: none"> ➢ Band Biru (450 – 525 nm) ➢ Band Hijau (530 – 590 nm) ➢ Band Merah (625 – 695 nm) ➢ Band Inframerah Dekat (760 – 890 nm)
Akurasi	< 10 meter (CE 90)
Lebar Sapuan	60 km x 60 km
Kapasitas Perekaman Data	Sampai Dengan 3 juta km ² / hari

(Sumber : SPOT 6 & SPOT 7 Imagery User Guide, 2013)

Log Ratio Transform didasarkan pada metode yang dikembangkan oleh NOAA untuk menghitung kedalaman air independen albedo bawah. Ini berarti bahwa kedalaman dihitung independen dari kecerahan bahan bawah (pasir terang atau vegetasi gelap). Metode estimasi kedalaman menggunakan refleksi untuk setiap band citra satelit, dihitung dengan sensor file kalibrasi dan dikoreksi untuk efek atmosfer. Pantulan air, R_w , yang meliputi bagian bawah di mana air dangkal optik, didefinisikan sebagai :

$$R_w = \frac{\pi L_w(\lambda)}{E_d(\lambda)} \dots \dots \dots \text{Persamaan 2.2}$$

Dimana L_w adalah pancaran cahaya meninggalkan air, E_d adalah downwelling radiasi memasuki air, dan λ is spektral pita. L_w dan R_w mengacu pada nilai-nilai di atas permukaan air. R_w dihasilkan melalui koreksi total pantulan RT untuk aerosol dan reflektansi permukaan, seperti yang diperkirakan oleh band inframerah dekat, dan untuk hamburan Rayleigh R_r (Persamaan 2.2).

$$R_w = RT(?_i) - Y(?_i) RT(?IR) - RT(?_i) \dots \dots \dots \text{Persamaan 2.3}$$

Y adalah konstanta untuk mengoreksi variasi spectral (setara untuk eksponen Angstrom dalam Gordon et al. (1983), subscript i menunjukkan saluran terlihat, dan subscript IR menunjukkan Inframerah Dekat channel. RT ditemukan dari Persamaan 2.4

Persamaan 2.9

$$RT(\lambda_i) = \frac{\pi L T(\lambda_i) / E_0(\lambda_i)}{(1/r^2) T_0(\lambda_i) T_1(\lambda_i) \cos \theta_0}$$

Persamaan 2.4

Linear transform merupakan Eksponensial atenuasi cahaya dengan kedalaman dalam kolom air dengan perubahan yang cepat diungkapkan oleh Hukum Beer (Persamaan 2.5).

$$L(z) = L(0) \exp(-Kz) \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.5}$$

K adalah koefisien atenuasi dan z adalah kedalaman. Setiap anal-ysis cahaya dengan kedalaman harus memperhitungkan fungsi exponensial penurunan cahaya dengan kedalaman. Lyzenga (1978) menunjukkan bahwa hubungan reflektansi yang diamati (atau radiance) untuk kedalaman dan albedo bawah dapat digambarkan sebagai :

$$R_w = (A_d - R_x) \exp(-gz) + R_x \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.6}$$

Dimana R_w adalah reflektansi kolom air jika air yang optik dalam, A_d adalah albedo bawah, Z adalah kedalaman, dan g adalah fungsi dari koefisien atenuasi menyebar untuk kedua downwelling dan cahaya upwelling. Persamaan 2.6 dapat belakang berkisar untuk menggambarkan kedalaman dalam hal reflectances dan Albedo (Persamaan 2.7).

$$Z = g^{-1} [\ln(A_d - R_x) - \ln(R_w - R_x)]$$

Persamaan 2.7

Estimasi kedalaman dari sebuah band tunggal dengan menggunakan Persamaan 2.7 akan tergantung pada albedo A_d , dengan penurunan Albedo diperkirakan mengakibatkan peningkatan kedalaman. Lyzenga (1978, 1985) menunjukkan bahwa dua band bisa memberikan correction untuk Albedo dalam mencari kedalaman dan dibuat dari Persamaan 2.7 solusi linear dalam Persamaan 2.8

$$Z = a_0 + a_i X_i + a_j X_j \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.8}$$

Dimana

$$X_i = \ln[R_w(\lambda_i) - R_{\infty}(\lambda_i)]$$

Metode untuk menurunkan pancaran relatif untuk data satelit didasarkan pada metodologi yang diadopsi oleh Stumpf dan Holderied. Alat Kedalaman Air Relatif diaktifkan di ENVI™ 5 suite digunakan untuk mengekstrak rasio log antara band hijau (520-590 nm) dan band biru (440-510 nm). Algoritma ini menggunakan rasio reflektansi diamati dan dua konstanta untuk menghitung satelit berasal relatif mendalam (SDRD), sebagai berikut:

$$Z = m_2 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_i))} - m_0$$

Persamaan 2.10

Dimana m_1 adalah nilai konstan untuk skala rasio kedalaman, n adalah konstanta tetap untuk semua bidang, dan m_0 adalah offset untuk kedalaman 0 m ($Z=0$), analog dengan a_0 dalam Persamaan 2.8. Tetap nilai dari n dalam persamaan 2.10 dipilih untuk memastikan bahwa kedua logaritma akan positif dalam kondisi apapun dan bahwa rasio akan menghasilkan respon linear dengan kedalaman. Algoritma rasio diperiksa ulang terhadap hasil model dari Lubin et al (2001) untuk mengevaluasi solusi empiris. Lubin et al. (2001) membuat simulasi *top of atmosphere radiances* untuk band Landsat 1 dan 2 untuk jenis dasar yang berbeda. Radiances ini dikurangi menjadi reflectances air dengan menggunakan Pers. 2.1–2.3, maka Persamaan 2.10 digunakan untuk memperkirakan kedalaman (Gambar 2.6). Dua jenis dasar dari Lubin et al. (2001) dengan berbeda albedo bawah diperiksa: pasir ($A_d=41\%$ pada 500nm) dan alga bentuk karanag ($A_d=17\%$ pada 500 nm). Satu set tunggal koefisien, m_1 dan m_0 , yang dioptimalkan untuk meminimalkan kesalahan untuk kedua jenis bawah. *The Root mean square (rms) error* < 0,4 m antara kedalaman model input dan estimasi kami kedalaman sampai 20 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio algoritma memiliki potensi untuk menjadi efektif. Model analisis lebih lanjut enunjukkan bahwa perhitungan kedalaman tidak sensitif (error rms < 0,4 m) sampai tiga kali lipat perubahan nilai n ($n =$ antara 500 sampai 1.500).

Standar Minimum Survei Batimetri, teknologi pengukuran dalam survei batimetri

saat ini sedang mengalami perubahan secara mendasar, sistem akustik bawah air multibeam mampu memberikan gambaran dan pengukuran dasar laut secara penuh. Perkembangan teknologi yang signifikan ini telah membuat para navigator mampu memposisikan dirinya dalam ketelitian yang lebih tinggi dari pada data diatas peta itu sendiri. Tingkat ketelitian yang diisyaratkan pada S-44 edisi sebelumnya secara umum didasarkan pada keterbatasan prakter penggambaran dalam segala skala. Oleh karena itu, persyaratan ketelitian posisi dalam S-44 edisi baru ini harus merupakan suatu fungsi kesalahan yang dihasilkan system

posisi dan pemeruman serta penggunaan data-data sebagaimana mestinya. Dalam membedakan ketelitian kedalaman, revisi S-44 ini beranjak dari edisi sebelumnya dengan memisahkan perbedaan persyaratan ketelitian dalam berbagai area sehubungan dengan kepentingan mereka terhadap keamanan navigasi. Dengan adanya *constant error* dan *error* karena pengaruh kedalaman yang mempengaruhi akurasi kedalaman maka rumus pada tabel 1 sebaiknya digunakan untuk menentukan batas *error* kedalaman yang diijinkan (*allowable error*) pada 95%CL (S-44 Edisi 5, 2008).

Tabel 2.1 Tabel *Standar Minimum Survei Hidrografi*

ORDO	KHUSUS	1a	1b	2
Contoh tipe - tipe area	Pelabuhan, tempat sandar dan alur kritis yang berhubungan dengannya dimana kedalaman air dibawah lunas minim.	Pelabuhan, alur pendekat pelabuhan haluan yang dianjurkan dan daerah-daerah pantai dengan kedalaman s/d 100 m.	Area yang tidak disebut pada ordo khusus dan ordo 1 atau area dengan kedalaman s/d 200 m.	Daerah lepas pantai yang tidak disebut dalam ordo khusus, dan ordo 1 serta ordo 2.
Ketelitian Horisontal (95% Confidence level) (1)	2 m	5 m + 5% kedalaman	5 m + 5 % kedalaman	20 m + 10% kedalaman
Ketelitian kedalaman yang disurutkan (95% CL) (1)	a = 0,25 m b = 0,0075	a = 0,5 m b = 0,013	a = 0,5 m b = 0,013	a = 1 m b = 0,023
Penelitian dasar laut secara 100 %	wajib (2)	Diperlukan pada area tertentu (2)	mungkin diperlukan pada area tertentu	tidak diperlukan
Kemampuan sistem deteksi	benda-benda > 1 m ²	benda-benda > 2 m ² pada kedalaman s/d 40 m atau benda-benda berukuran 10% kedalaman pada kedalaman lebih dari 40 m (3)	sama dengan ordo 1	tidak diperlukan
Maximum jarak antara lajur perum (4)	Tidak berlaku karena diwajibkan pemeriksaan dasar laut secara 100%	3 x kedalaman rata-rata atau 25 m, mana yang lebih besar	3-4 x rata-rata kedalaman atau 200 m, mana yang lebih besar	4 x rata-rata kedalaman

(sumber, S-44, edisi 5. 2008)

Untuk menyusun secara sistematis persyaratan ketelitian dari berbagai daerah yang akan disurvei, ditetapkan 4 tingkat persyaratan (orde) yang secara singkat pada (Tabel 2.1) merupakan standar ketelitian secara menyeluruh.

1. Orde Khusus

Survei hidrografi mendekati standar ketelitian survei dan digunakan secara terbatas di daerah-daerah kritis dimana kedalaman dibawah lunas yang sangat minim

dan dimana karakteristik dasar laut yang berpotensi membahayakan kapal. Survei Orde khusus akan dilakukan di perairan yang lebih dalam dari 40 meter, sebagai contoh pelabuhan tempat sandar dan daerah perairan dangkal sebai alur masuk kapalkapal yang akan bersandar atau berlabu di daerah tersebut guna menjamin keselamatan segala aktifitas pelayaran.

2. Orde 1A

Survei hidrografi diperuntukan bagi pelabuhan-pelabuhan, alur pendekat haluan yang dianjurkan, alur navigasi pedalaman dan daerah pantai dengan lalu lintas komersial yang padat dimana kedalaman dibawah lunas cukup memadai dan kondisi geografik dasar laut (lumpur atau pasir) tidak membahayakan kapal. Survei orde 1A berlaku didaerah kedalaman kurang dari 100 m meskipun kondisi dasar laut tidak begitu ketat dibandingkan dengan orde khusus. Kondisi dasar laut secara menyeluruh tetap diperlukan di daerah-daerah tertentu, dimana karakteristik dasar laut dan resiko adanya rintangan yang berpotensi membahayakan kapal. Daerah yang diteliti tersebut harus diyakinkan bahwa kedalamannya sampai dengan 40 m.

3. Orde 1B

Survei hidrografi diperuntukan di daerah yang lebih dangkal dari 100 meter di mana gambaran umum dasar laut dianggap memadai untuk jenis pelayaran permukaan yang akan transit di daerah ini. Orde 1B ini hanya direkomendasikan di mana jarang ruang di bawah-lunas tidak dianggap masalah. Sebagai contoh akan menjadi daerah di mana karakteristik dasar laut sedemikian rupa sehingga kemungkinan ada terjadi fitur buatan manusia atau alam di dasar laut yang akan membahayakan jenis kapal permukaan sehingga diharapkan untuk mengurangi bernavigasi di daerah ini.

4. Orde 2

Survei hidrografi yang sedikit ketat dan ditujukan untuk daerah-daerah dimana kedalaman air seperti yang ada pada gambaran umum dasar laut sehingga dianggap memadai. Disarankan bahwa survey Orde 2 terbatas pada daerah yang lebih dalam dari 100 meter seperti pada kedalaman air yang melebihi 100 meter, adanya fitur buatan

manusia atau alam yang cukup besar untuk mempengaruhi navigasi permukaan dan masih tetap tidak terdeteksi oleh survei Orde 2 dan dianggap tidak sesuai.

Suatu metode statistik untuk menentukan ketelitian kedalaman yang mengkombinasikan setiap kesalahan yang diketahui diharuskan untuk digunakan disertai dengan pengecekan. Sengan menggunakan nilai a dan b pada (tabel 2.1) diatas, rumus yang digunakan untuk menghitung 95% level kepercayaan.

$$\sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$$

Persamaan 2.11

Keterangan :

a² = Jumlah kuadrat seluruh nilai *constant error*.

(b x d)² = Jumlah kuadrat seluruh *error* yang berkaitan dengan kedalaman (*depth dependent error*).

b = Faktor-faktor dari *depth dependent error*.

d = Kedalaman.

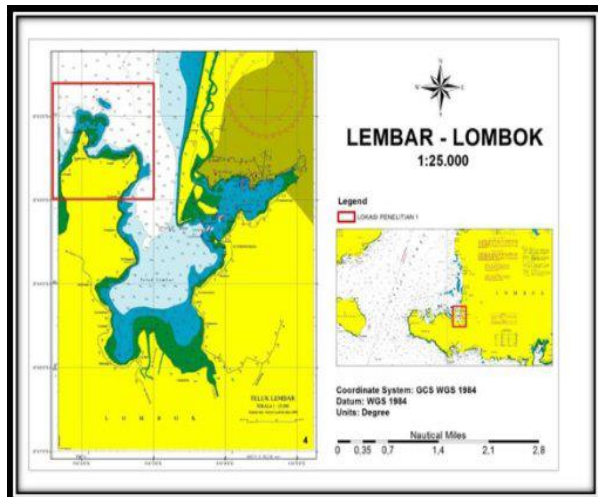
Dengan maksud keamanan pelayaran untuk menjamin kedalaman minimum di daerah tersebut penggunaan alat pamaritan mekanik tertentu yang dipilih dengan cermat mungkin cukup memadai bagi survei orde khusus dan orde 1. Nilai 40 m dipilih dengan mempertimbangkan draff kapal maksimum yang diharapkan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian menjelaskan rincian teknis pelaksanaan penelitian yang telah tersusun secara sistematis. Rincian metode penelitian secara garis besar dibagi menjadi tiga tahapan utama yaitu tahapan persiapan, tahapan pelaksanaan dan tahapan pengolahan hasil. Tahapan persiapan berupa studi literatur yang berhubungan dengan penelitian yang akan dikerjakan. Selain itu, penyediaan alat dan bahan yang berupa data citra satelit serta program pengolahan citra tersebut. Tahapan pelaksanaan meliputi pengolahan data citra dan data sekunder berupa hasil pengolahan citra tersebut.

Lokasi penelitian di Lembar Kabupaten Lombok Barat, peta laut nomor 292 skala 1:25.000 edisi keluaran tahun 2013. Didapatkan dari instansi Dinas Hidro-

Oseanografi TNI- AL. Pemilihan daerah di Lembar Kabupaten Lombok Barat dijadikan wilayah penelitian karena merupakan salah satu daerah yang telah disurvei oleh Dinas Hidro-Oseanografi (Dishidros) sebagai alur pelayaran.



Gambar 1 Peta Laut Nomor 292 Pushidros

Lokasi penelitian di Lembar Lombok pada di koordinat :

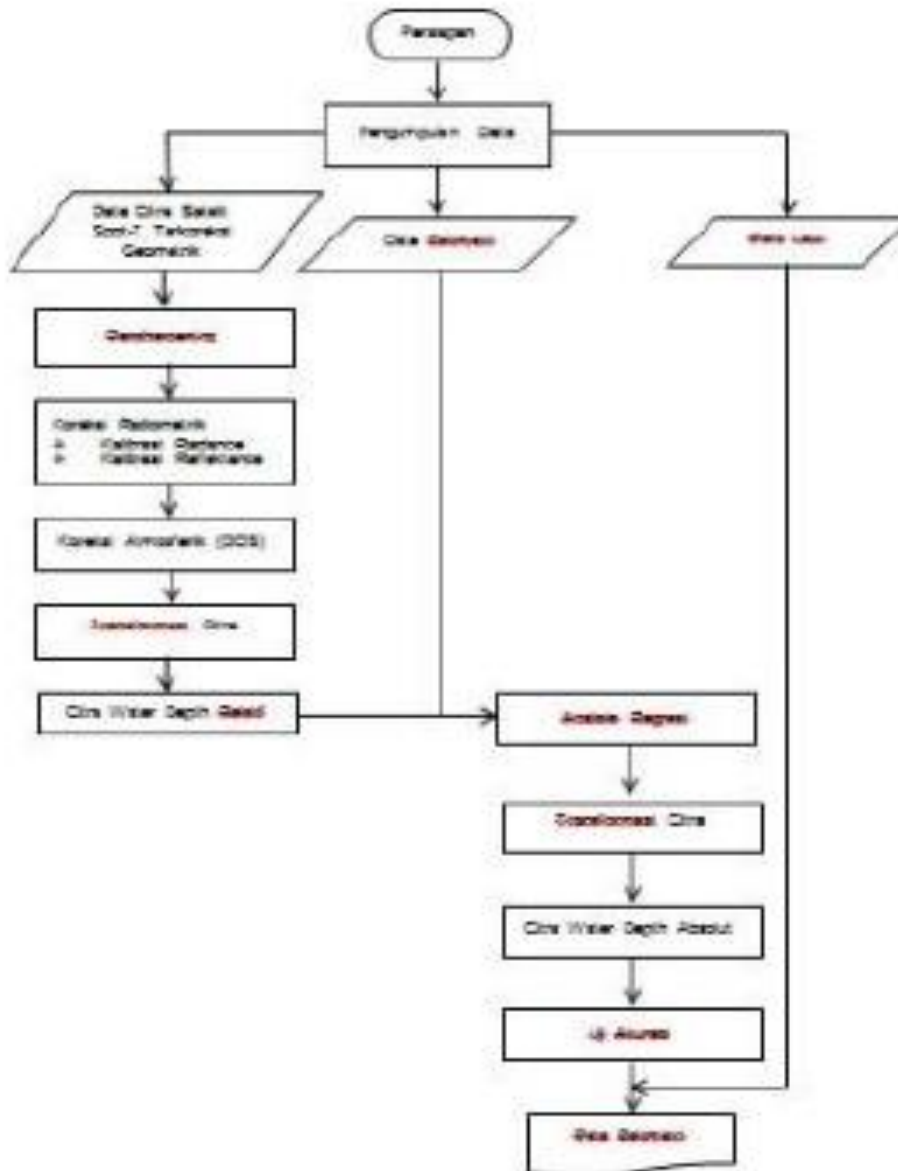
- a. 116° 01' 40.59" BT dan 8° 44' LS
- b. 116° 03' 10" BT dan 8° 44' LS
- c. 116° 03' 10" BT dan 8° 42' 35" LS
- d. 116° 01' 40.59" BT dan 8° 42' 35" LS

Pengumpulan data penelitian yang digunakan adalah data sekunder, dimana sumber data batimetri diperoleh dari instansi Dinas Hidro-Oseanografi TNI-AL wilayah Lembar Lombok Barat NTB berupa data Lembar Lukis Teliti tahun 2009 dan sudah terkoreksi pasang surut. Kemudian data citra satelit SPOT-7 yang terkoreksi geometrik diperoleh dari instansi LAPAN perekaman citra diperoleh pada tanggal 01 Maret 2015.



Gambar 2 Citra Satelit SPOT-7 Yang Sudah Terkoreksi Geometrik

Data citra satelit SPOT-7 merupakan generasi satelit mempunyai resolusi spasial tertinggi saat ini dari seri satelit SPOT, kanal Multispektral dengan resolusi spasial 6 m terdiri dari kanal spektral biru (0,450 - 0,520 μ m), hijau (0,530-0,590 μ m), merah (0,625-0,695 μ m) dan band NIR (0,760 - 0,890 μ m). Informasi hasil penelitian BIG menyatakan citra satelit SPOT-7 data dari instansi LAPAN sudah terkoreksi geometrik dan bisa digunakan untuk menghasilkan informasi skala 1:25.000. Perekaman citra SPOT-7 diperoleh pada tanggal 01 Maret 2015.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Tujuan dari pengolahan data citra adalah mempertajam data geografis dalam bentuk digital menjadi suatu tampilan yang lebih berarti bagi pengguna, dapat memberikan informasi kuantitatif suatu obyek, serta dapat memecahkan masalah. Data citra yang terekam sensor sangat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer, sudut pengambilan data dari sensor, dan waktu pengambilan data. Kondisi tersebut menyebabkan data citra satelit memiliki bias nilai informasi yang harus dikoreksi.

Pan Sharpening merupakan metode fusi citra yang beresolusi tinggi Data *pankromatik* menyatu dengan data

multispektral resolusi rendah untuk membuat dataset resolusi tinggi berwarna. Produk yang dihasilkan hanya harus melayani sebagai bantuan untuk analisis literal dan bukan untuk analisis spektral lebih lanjut. Algoritma *pansharpening* yang digunakan untuk mempertajam Data *multispektral* menggunakan data *pankromatik* resolusi spasial tinggi. Asumsi yang mendasari algoritma ini adalah bahwa secara akurat dapat diperkirakan apa data *pankromatik* akan terlihat seperti menggunakan resolusi spasial data yang *multispektral* lebih rendah. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut perlu dilakukan proses *pansharpening* atau

penajaman citra *multispektral* dengan menggunakan detail spasial dari citra *pankromatik*. Dalam proses pengolahan, input data berupa citra SPOT-7 multispektral resolusi spasial 6 m (*Blue, Green, Red, Near-Infrared (NIR)*) dan i resolusi spasial 1,5 m. Proses *pansharpening* dimodifikasi dari metode *Brovey* dengan formula:

$$MB_i = Band_i * \frac{Pan}{\frac{1}{2}(Green + Red)}$$

Persamaan 3.1

Keterangan :

- MB_i : Citra *Pansharpening Bandi*
- i : *Band Blue, Green, Red, NIR*
- Pan : Citra *Pankromatik*

Kalibrasi radiometrik ini adalah untuk mengubah data pada citra yang (pada umumnya) disimpan dalam bentuk *Digital Number (DN)* menjadi *radiance* dan/atau *reflectance*, bisa juga ke *brightness temperature* (untuk kanal *Termal Infra Red*). Sebelum melakukan kalibrasi radiometrik, penting untuk mengetahui resolusi radiometric dari citra yang kita gunakan. Misal untuk SPOT-7, resolusi radiometriknya adalah 12 bits atau setara dengan (2 pangkat 12) 4096 *pixel value*, (atau *Digital Number*, atau *Digital Count* atau dikenal juga dengan istilah *grayscale*), berarti data yang kita gunakan memiliki gradasi *grayscale* dari 0 sampai 4095. Koreksi Geometrik terdiri dari dua tahap:

1. Mengkonversi nilai DN ke nilai spektral radian. Menggunakan *Gain dan Offset*, data yang diperlukan adalah *radiance atau reflectance multiple rescalling factor (GAIN) dan additive rescalling factor (OFFSET)*. Sebagai contoh, koreksi radiometrik ini menggunakan data SPOT-7 (resolusi spasial 12 bit). Konversi DN ke TOA Radiance (*TOA = Top of atmosphere*) Rumus yang digunakan untuk mengubah DN ke *radiance (L)* adalah sebagai berikut:

$$L\lambda = MLQcal + AL \dots\dots$$

Persamaan 3.2

Keterangan :

Lλ = *TOA spectral radiance (Watts/(m² * srad * μm))*

ML = *Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata (RADIANCE_MULT_BAND_x, where x is the band number)*

AL = *Band-specific additive rescaling factor from the metadata (RADIANCE_ADD_BAND_x, where x is the band number)*

Qcal : *Quantized and calibrated standard product*

pixel values (DN)

2. Mengkonversi Nilai Spektral Radian ke Nilai Spektral Reflektan, menormalisasi nilai *Irradiance* dengan mengkonversi nilai spektral radian dengan mempertimbangkan nilai cosinus akibat dari perbedaan sudut matahari dan nilai *Exoatmospheric Irradian* dari perbedaan nilai spektral di setiap kanal. Dengan demikian nilai reflektan *Exoatmospheric* adalah kombinasi factor kelengkungan permukaan dan reflektan atmosfer yang dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$pp = \frac{\pi * L\lambda * d^2}{ESUN \lambda * \cos\theta s}$$

Persamaan 3.3

Keterangan :

- ?p : *Reflectance* di atas atmosfer
- L? : *Radiance* di atas atmosfer
- ESUN? : *Irradiance matahari*
- Cos θs : *Sudut zenith matahari*
- d2 : *Rasio jarak bumi matahari*

Berdasarkan persamaan tersebut, nilai d2, *Sun Zenit (sz)* dan *Sun Elevation (se)*, ditentukan sebagai berikut:

$$d2 = 1 - 0.01674 * \cos(((julday/365) * 360) / 180 * \pi)$$

Persamaan 3.4

$$sz = (90.0 - se) / 180 * \pi \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.5}$$

Koreksi Atmosferik, persamaan yang digunakan dalam melakukan koreksi atmosfer adalah *Dark Object Substraction*. Persamaan ini menggunakan saluran inframerah sebagai faktor koreksi dengan *Dark Object* adalah daerah perairan dalam dan jernih. DOS dipilih karena tidak diketahuinya parameter data lapangan untuk

mengoreksi citra dan juga tidak diketahuinya model efek atmosfer yang dapat mengasumsikan kondisi atmosfer saat data citra direkam.

$$R_c = R - R_{si} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.6}$$

Keterangan :

- R_c : reflektansi terkoreksi atmosfer
- R : TOA reflektansi

$$R_{si} = (\text{Mean } R_w - (2 \cdot \text{StDev } R_w)) \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.7}$$

Keterangan :

- R_w : reflektansi air dalam dan jernih
- Mean : rata – rata
- StDev : standar deviasi

Water Depth Relatif, memungkinkan untuk menyajikan gambaran kedalaman secara relatif pada wilayah kajian. Untuk *Tools* ini disediakan oleh perangkat lunak ENVI dan menggunakan algoritma batimetri *albedo independen* yang dikembangkan oleh *Stumpf dan Holderied*. Sifat dari *albedo* adalah mampu menghilangkan bias kedalaman yang dihasilkan oleh objek berbeda. Tahap penurunan informasi kedalaman dari citra penginderaan jauh adalah dengan memanfaatkan setiap nilai pantulan piksel citra dari masing-masing saluran tampak pada citra tersebut.

$$Z = \frac{m_1 (\ln(nR_w (\lambda_1)))}{m_2 (\ln(nR_w (\lambda_2))) - m_0} \dots\dots\dots$$

Menjadi : $y = ax + b$

Keterangan :

- y : Z (Kedalaman yang dicari)
- a : m_1
- b : m_2
- x : $\ln(nR_w (\lambda_1)) / \ln(nR_w (\lambda_2))$

m_1 dan m_2 diperoleh dari persamaan regresi antara data kedalaman perairan dengan rasio band 1 dan band 2. Model empiris yang digunakan adalah $y = ax + b$, $a = m_1$ dan $b = m_2$, sedangkan x merupakan nilai rasio Ln pantulan band 1 dan Ln pantulan band 2. Penggunaan rasio band 1 dan band 2 untuk menormalisasi efek pantulan dasar yang berubah akibat pengaruh kolom air dan fungsi

Ln digunakan untuk memperoleh garis linear yang digunakan dalam persamaan regresi. Pemilihan rasio band yang digunakan dalam persamaan regresi mengacu dari hasil penelitian dengan hasil regresi terbaik terdapat pada persamaan menggunakan rasio Ln B1 dan Ln B2.

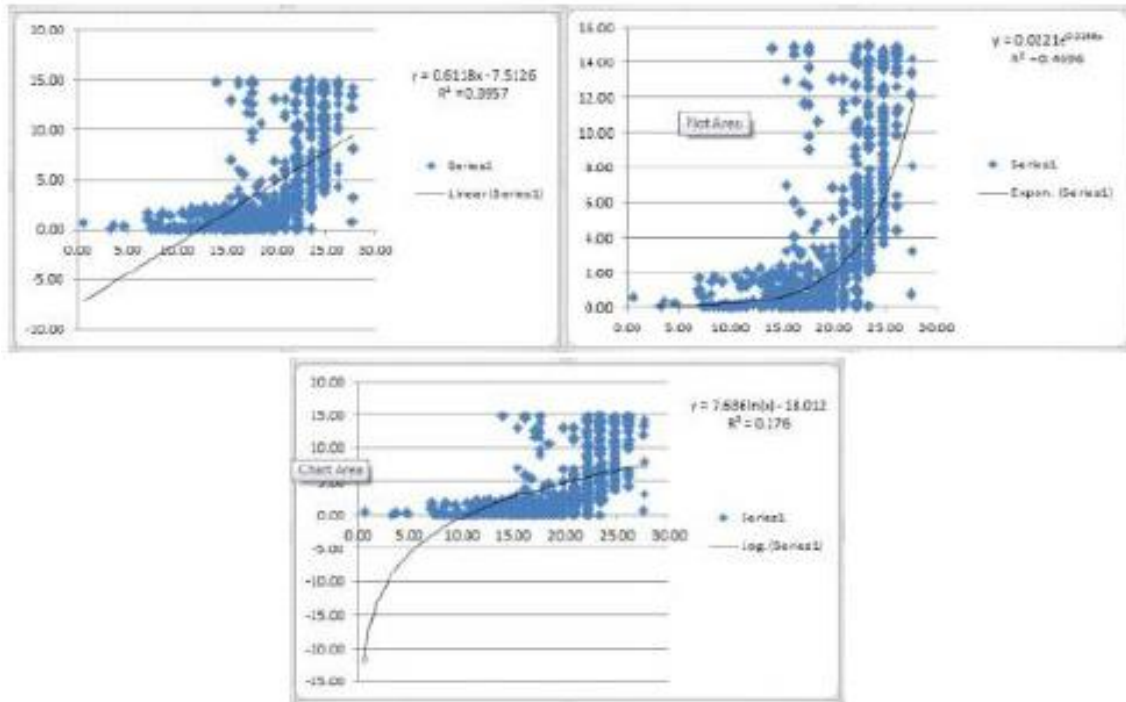
Analisis regresi merupakan salah satu analisis yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh suatu variable terhadap variabel lain. Dalam analisis regresi, variabel yang mempengaruhi disebut *Independent Variable* (variable bebas) dan variabel yang dipengaruhi disebut *Dependent Variable* (variabel terikat). Jika dalam persamaan regresi hanya terdapat satu variabel bebas dan satu variabel terikat, maka disebut sebagai persamaan regresi sederhana, sedangkan jika variabel bebasnya lebih dari satu, maka disebut sebagai persamaan regresi berganda. Analisis Regresi Sederhana digunakan untuk mengetahui pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat atau dengan kata lain untuk mengetahui seberapa jauh perubahan variabel bebas dalam mempengaruhi variabel terikat. Dalam analisis regresi sederhana, pengaruh satu variabel bebas terhadap variabel terikat dapat dibuat persamaan sebagai berikut :

$$Y = a + bX \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.9}$$

Keterangan:

- Y : Variabel terikat
- X : Variabel bebas
- a : Konstanta
- b : Koefisien regresi/slop

Langkah selanjutnya membuat grafik dengan tiga jenis regresi yang ada di MS Excel, dibawah ini salah grafik persamaan regresi *Logarithmic, Linear dan Exponential*.



Gambar 4 Tampilan Grafik Persamaan Regresi *Logarithmic, Linear Dan Exponential.*

Grafik tersebut dibuat agar dapat diketahui besarnya nilai *koefisien determinasi* (r^2) serta persamaan yang dihasilkan, *koefisien determinasi* akan digunakan untuk menghasilkan nilai *koefisien korelasi*. RMSE dihitung juga berdasarkan data yang didapat dari Extract nilai citra. Persamaan regresi yang dihasilkan dipilih berdasarkan nilai *koefisien determinasi*, *nilai korelasi* dan *RMSE* yang paling baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pra Pemrosesan, Dalam pemrosesan secara digital, pra-pengolahan citra diartikan sebagai proses awal sebelum dilakukan pengolahan citra lebih lanjut. Prosedur ini bertujuan untuk memperbaiki data citra yang mengalami distorsi atau kesalahan kedalam bentuk aslinya.

Rangkaian koreksi radiometrik memodifikasi nilai piksel citra dengan tujuan nilai piksel yang berupa *digital number* (DN) menjadi nilai energi. Tahapan yang telah dilakukan dalam koreksi radiometrik citra yaitu

konversi nilai DN menjadi *spectral radiance*. Pada proses ini diperlukan informasi Gain dan Bias dari sensor di setiap band. Transformasi dilakukan berdasarkan kurva kalibrasi DN ke radian yang telah dihitung secara sistematis. Kalibrasi dilakukan sebelum sensor diluncurkan dengan tingkat akurasi menurun seiring dengan sensitivitas sensor yang berubah sepanjang waktu, sehingga diperlukan kalibrasi ulang sensor. Berdasarkan proses tersebut diperoleh persamaan untuk kalibrasi nilai DN menjadi nilai radian. Persamaan radian pada tiap saluran citra Spot 7 dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Band id	Gain	Bias	Radian
B0	10.075	0	$((b1/10.075)+0)$
B1	10.86	0	$((b2/10.86)+0)$
B2	15.388	0	$((b3/15.388)+0)$
B3	9.49	0	$((b4/9.49)+0)$

Kalibrasi Reflektan, Citra hasil dengan nilai piksel yang telah dikalibrasi menjadi nilai energi dilanjutkan dengan koreksi reflektan sehingga diperoleh normalisasi nilai

irradiation yaitu dengan cara mengkonversi nilai spectral radian. Proses mempertimbangkan nilai *cosinus* akibat dari perbedaan sudut matahari dan nilai *exoatmospheric* irradiant dari perbedaan nilai spektral di setiap band maka diperoleh persamaan yang digunakan untuk perhitungan koreksi reflektan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 d^2 &= (1 - 0,01674 * (\cos (0,9856 * (JD - 4) / 180 * \\
 &)) ^2 \\
 &= (1 - 0,01674 * (\cos (0,9856 * (54) / 180 *)) ^2 \\
 &= (1 - 0,01674 * (\cos (53,2224) / 180 *)) ^2 \\
 &= (1 - (0,01674 * 0,99986858)) ^2 \\
 &= 1 - 0,01674 \\
 &= 0,9832622
 \end{aligned}$$

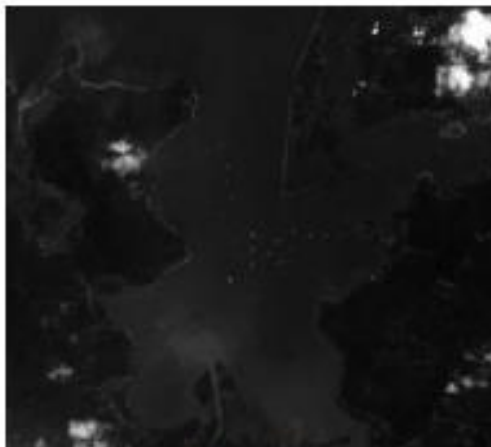
$$\begin{aligned}
 \text{Sun Elevation} &= 53.37 = (\theta) \\
 \text{Cos } \theta &= (90^\circ - 55,37^\circ) \\
 \text{Cos} &= 34,63 \\
 &= 0,82284
 \end{aligned}$$

$$= 0,823$$

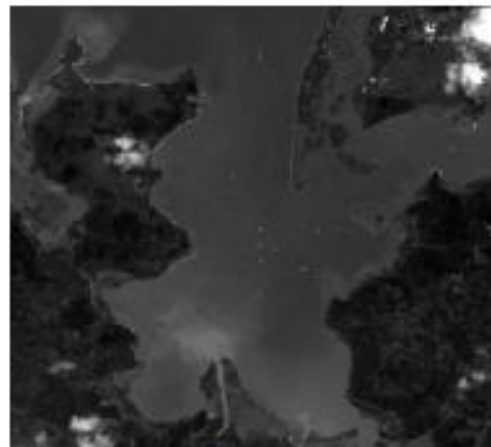
Tabel 4.2 Konversi nilai spektral radian ke nilai spectral reflektan

Band id	Band Number	ESun	Rasio	Se	Reflektan
B0	Band_1	1964.630881	0.9833	0.823	$((b1 * 0.9833) / (1964.630881 * 0.823))$
B1	Band_2	1810.106202	0.9833	0.823	$((b2 * 0.9833) / (1810.106202 * 0.823))$
B2	Band_3	1520.298133	0.9833	0.823	$((b3 * 0.9833) / (1520.298133 * 0.823))$
B3	Band_4	1084.46188	0.9833	0.823	$((b4 * 0.9833) / (1084.46188 * 0.823))$

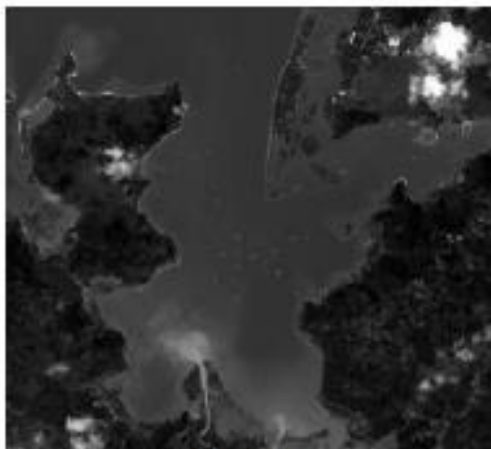
Citra Kedalaman Relatif, Klasifikasi sensitivitas band dari citra satelit spot 7 dalam mendeteksi karakteristik perairan dangkal telah dilakukan analisis citra dengan memisahkan dan menganalisis terlebih dahulu masing-masing band sehingga diperoleh tampilan citra daerah Lembar Lombok seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Band 1



Band 2



Band 3



Band 4

Gambar 1 Tampilan: Band Yang Sudah Terkoreksi Spectral Reflektan Pada Citra Spot

Band 1, band biru berfungsi sebagai penetrasi tubuhair, analisis penggunaan lahan, tanah dan vegetasi pembedaan vegetasi dan lahan. Secara substansial berpotensi untuk dikoreksi karena sangat dipengaruhi oleh hamburan atmosfer.

Band 2, band hijau berfungsi sebagai pengamatan puncak pantulan vegetasi pada saluran hijau yang terletak diantara dua saluran penyerapan, yang dimaksudkan untuk membedakan jenis vegetasi dan tingkat kesehatan masing-masing vegetasi. Band ini mampu untuk fokus lebih akurat pada puncak reflektansi vegetasi yang sehat sehingga ideal untuk menghitung kekuatan tanaman.

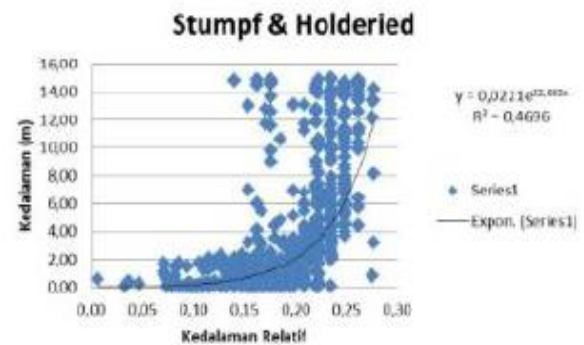
Band 3, memiliki fokus yang lebih baik pada penyerapan cahaya warna merah oleh klorofil pada tumbuhan sehat, sehingga sangat berguna dalam mengklasifikasikan lahan terbuka dan lahan bervegetasi.

Band 4, saluran yang peka terhadap biomassa vegetasi, identifikasi jenis tanaman, memudahkan pembedaan tanah dan tanaman, serta lahan dan air. Band tersebut lebih efektif untuk perkiraan kadar air dan biomassa tanaman sehingga efektif memisahkan badan air dari vegetasi, mengidentifikasi tipe vegetasi dan juga membedakan antara tipe tanah. Untuk memperjelas tampilan dan mempertajam kondisi ekosistem secara visual maka digunakan komposit warna agar proses identifikasi menjadi lebih jelas.

Pemilihan model kedalaman didasarkan pada koefisien determinasi (R^2), koefisien korelasi (R) dan nilai RMSE yang telah dihasilkan dari regresi model, persamaan regresi model diimplementasikan terhadap keseluruhan liputan citra untuk menghasilkan peta batimetri. Metode *Stumpf dan Holderied* memanfaatkan model kedalaman air relatif, model ini memungkinkan suatu korelasi antara piksel kedalaman relatif citra dengan data pemeruman laut sehingga kedalaman yang dihasilkan dapat menyamai data data kedalaman hasil survei.

Regresi Menggunakan Metode *Stumpf & Holderied*, Penelitian di perairan

dangkal Lembar Lombok yang meliputi pasir, karang, lamun dan *ruble*. Pasir sebagai subsrat yang mendominasi di daerah ini memantulkan cahaya paling kuat, ditandai dengan tingkat keabuan tinggi. Suatu piksel yang memiliki tingkat keabuan terang, nilai digitalnya (DN) semakin besar. sebaliknya, semakin mendekati tingkat keabuannya gelap, DN akan semakin kecil.



Gambar 2 Grafik Persamaan Regresi Exponential

Uji regresi dilakukan tidak hanya untuk citra hasil algoritma kedalaman relatif, tetapi juga dilakukan untuk regresi lainnya yaitu regresi rasio $\ln \text{band3} / \ln \text{band1}$ dan regresi rasio $\ln \text{band2} / \ln \text{band1}$ sebagai bahan perbandingan. Persamaan regresi koefisien determinasi untuk menentukan nilai kedalaman adalah menggunakan persamaan regresi berikut :

$$y = 0,0221e^{22,683x}$$

Keterangan :

y = kedalaman yang dicari

e = bilangan ekponensial (2,7183)

x = bilangan real positif

Uji akurasi model regresi *exponential* menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,4696, koefisien korelasi (R) sebesar 0,685273668 dan nilai RSME sebesar 2,055377848 (Gambar 4.3), pada citra hasil koreksi atmosferik dapat diperoleh persamaan batimetri citra. Persamaan batimetri tersebut merupakan persamaan yang dibangun berdasarkan data lapangan dimana sampel kedalaman minimal adalah 0,1 meter dan sampel kedalaman maksimal adalah 20,2 meter. Oleh sebab itu, persamaan batimetri

pada penelitian ini hanya baik untuk mengakomodasi kedalaman perairan pada rentang 0,1 – 20,2 meter sesuai dengan besarnya nilai koefisien determinasi.

Regresi Model Rasio Lnband3 / Lnband1, Logaritma natural (Ln) adalah logaritma yang berbasis e, di mana e adalah 2,718281828459. Logaritma natural terdefiniskan untuk semua bilangan real positif x dan dapat juga didefinisikan untuk bilangan kompleks yang bukan 0. Fungsi ln adalah invers dari fungsi eksponensial:

$$e^{\ln(x)} = x$$

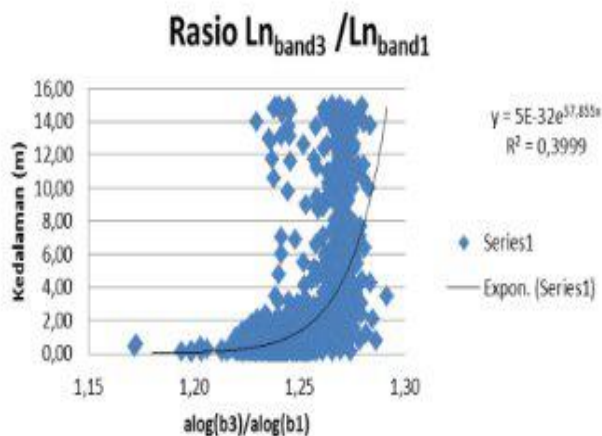
Keterangan :

Untuk semua nilai (x) yang positif dan

$$\ln(e^x) = x$$

Keterangan :

Untuk semua nilai (x) yang *real*.



Gambar 3 Regresi Sampel Lapangan Terhadap Rasio Lnband3 Dan Lnband1

Persamaan regresi koefisien determinasi untuk menentukan nilai kedalaman adalah menggunakan persamaan regresi berikut :

$$y = 5E-32e^{57,855x}$$

Keterangan :

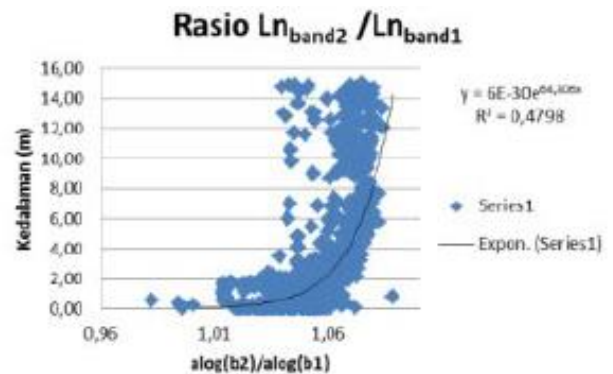
y = kedalaman yang dicari

x = $\ln(nRw(\lambda_3)) / \ln(nRw(\lambda_1))$

Uji akurasi model rasio Lnband3 dan Lnband1 menghasilkan nilai R2 sebesar 0,3999 koefisien korelasi (R) sebesar 0,63237647 dan nilai RSME sebesar

2,060901089 (Gambar 3). Hasil yang digambarkan rasio Lnband3 dengan Lnband1, tidak memuaskan mengingat dari koefisien determinasi yang dihasilkan bernilai kecil serta menghasilkan nilai kedalaman aktual yang tidak sesuai pada sebagian tingkatan kedalaman.

Regresi Model Rasio Lnband2 / Lnband1,



Gambar 4 Regresi Sampel Lapangan Terhadap Rasio Lnband2 dan Lnband1

Uji akurasi model rasio Lnband2 dan Lnband1 menghasilkan nilai R2 sebesar 0,4798 korelasi (R) sebesar 0,69267597 dan nilai RSME sebesar 2,060932103 (Gambar 4). Persamaan empiris yang dipakai adalah persamaan regresi dengan nilai koefisien determinasi terbaik sehingga untuk menentukan nilai kedalaman adalah menggunakan persamaan regresi berikut :

$$y = 6E-30e^{64,306x}$$

Keterangan :

y = kedalaman yang dicari

x = $\ln(nRw(\lambda_2)) / \ln(nRw(\lambda_1))$

Nilai kedalaman yang didapatkan dengan memasukan rumus di atas pada algoritma pengolahan citra menghasilkan citra kedalaman perairan dangkal dibandingkan dengan uji akurasi model regresi *exponential* band 1 menghasilkan nilai R2 sebesar 0,4696 koefisien korelasi (R) sebesar 0,685273668 dan nilai RSME sebesar 2,055377848 (Gambar 2)

RMSE (Root Mean Square Error) merupakan akar dari rata-rata jumlah kuadrat antara selisih nilai kedalaman actual hasil pengukuran lapangan dengan nilai kedalaman hasil estimasi pengolahan citra penginderaan

jauh. Nilai RMSE yang lebih kecil, menunjukkan model persamaan estimasi kedalaman yang lebih baik. Ini merupakan salah satu cara uji akurasi estimasi kedalaman dari pengolahan citra penginderaan jauh.

Tabel 4.3 Nilai *RMS Error* Persamaan Fungsi Kedalaman

	Persamaan I	Persamaan II	Persamaan III
	Stumpf & Holderied	Rasio $\ln_{\text{band1}}/\ln_{\text{band2}}$	Rasio $\ln_{\text{band1}}/\ln_{\text{band2}}$
Persamaan Exponential	$y = 0,0221e^{22,683x}$	$y = 6E-30e^{64,306x}$	$y = 5E-32e^{57,855x}$
R ²	R ² = 0.4696	R ² = 0.4798	R ² = 0.3999
R	0,685273668	0,69267597	0,63237647
RMSE	2,055377848	2,060932103	2,060901089

Citra Kedalaman Absolut,
 Persamaan regresi yang diperoleh
 dipergunakan untuk mentransformasi seluruh

nilai piksel citra kedalaman air relatif menjadi nilai piksel citra yang menunjukkan kedalaman absolut (kedalaman lapangan). Persamaan regresi dengan metode *Stumpf & Holderied* menjadi persamaan untuk menentukan kedalaman absolut.

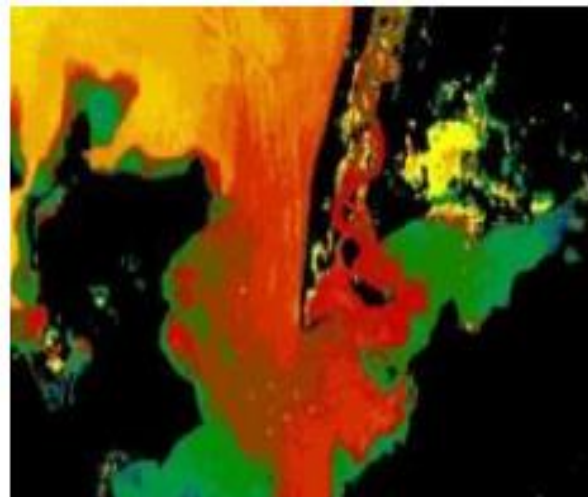
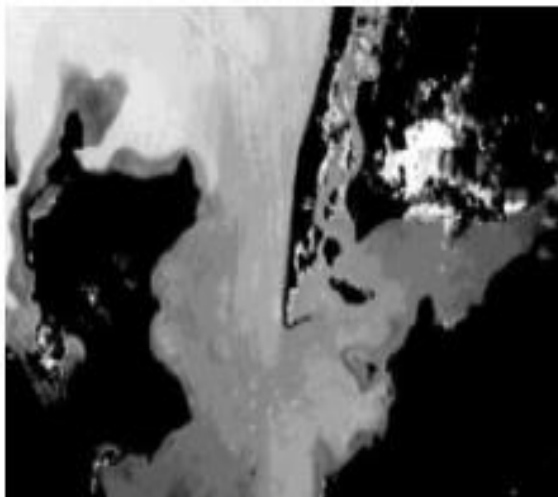
$$y = 0,0221e^{22,683x}$$

Keterangan :

y = Kedalaman Absolut

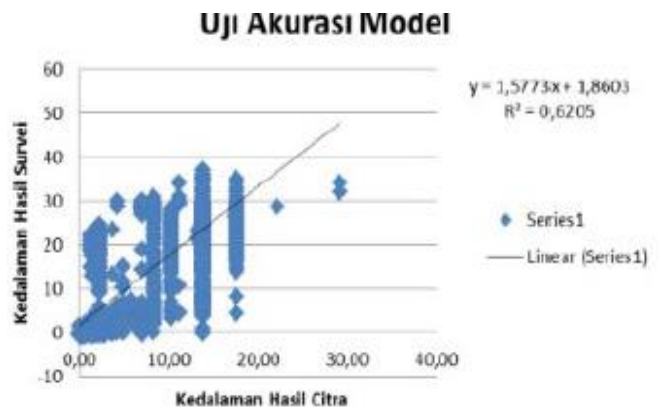
x = Kedalaman Relatif

Data citra yang dihasilkan dari proses tranformasi dari kedalaman relatif menjadi kedalaman *absolute* berupa data raster, sehingga nilai piksel citra baru sudah merefleksikan besarnya nilai kedalaman air yang dicari dengan satuan meter.



Gambar 5 Hasil Citra Batimetri Perairan Dangkal Lembar Lombok

Uji akurasi atau validasi data yang berfungsi untuk menguji ketelitian dari data atau informasi yang dihasilkan dari pengolahan citra. Pada umumnya uji akurasi ini dilakukan untuk membandingkan antara kedua data atau informasi, yaitu data dari hasil analisis penginderaan jauh dan data dari survei lapangan (*ground truth*), dimana data dari survei lapang berisi sumber informasi atau data yang lebih akurat dan detail.



Hasil uji statistik model data kedalaman absolut citra dengan data

kedalaman survei menghasilkan nilai R² sebesar 0,6205 (Gambar 4.10). Fungsi regresi menunjukkan persamaan *Linear* ditunjukkan nilai koefisien determinasi (R² = 0,6205), nilai korelasinya sebesar (R = 0,7877182) atau akurasi sebesar 78,77%.

Klasifikasi nilai orde dilakukan untuk menguji kelayakan citra kedalaman yang dihasilkan untuk digunakan sebagai sumber data pemetaan batimetri berstandar IHO, kualitas data kedalaman yang telah diubah dari dBase File ke dalam format Ms Excel kemudian ditentukan klasifikasi nilai ordenya dengan mengeksport data atribut pada tabel 4.3 menjadi Ms. Excel agar sesuai rumus:

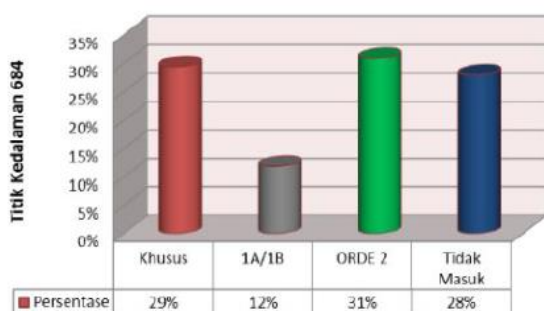
$$\sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$$

adapun nilai orde yang diperoleh adalah sebagai berikut:

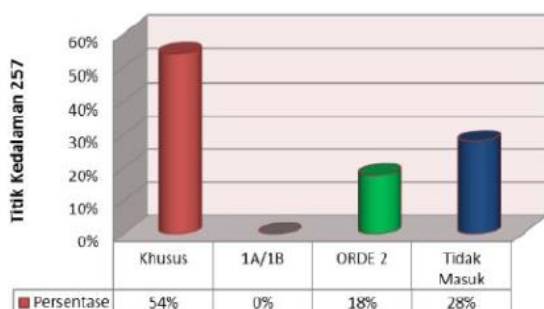
Tabel 4.6 Tabel Kualitas Perkedalaman

Data Kedalaman (meter)	Jumlah Data	Ketentuan IHO			Tidak Masuk	Ketelitian (meter)
		Khusus	1A/1B	2		
0 - 2 m	684	29%	12%	31%	28%	3,87
2,1 - 5 m	257	54%	0%	12%	28%	4,12
5,1 - 10 m	310	40%	0%	0%	59%	12,24
10,1 - 20 m	1264	67%	0%	0%	32%	3,01

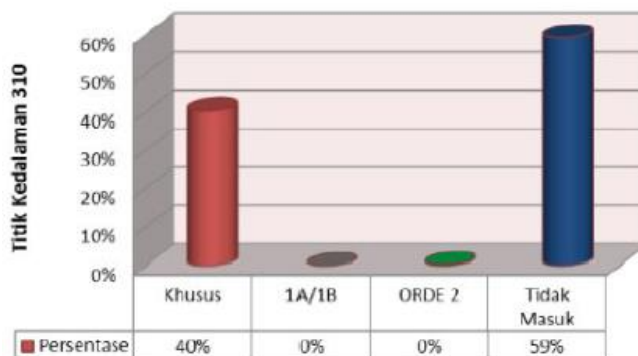
Grafik Kualitas Data Kedalaman 0 - 2 Meter



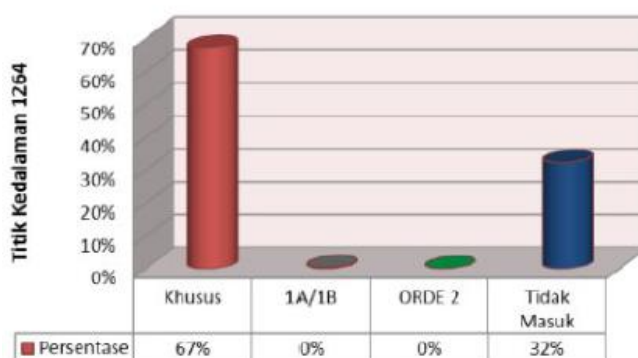
Grafik Kualitas Data Kedalaman 2,1 - 5 Meter



Grafik Kualitas Data Kedalaman 5,1 - 10 Meter



Grafik Kualitas Data Kedalaman 10,1 - 20 Meter

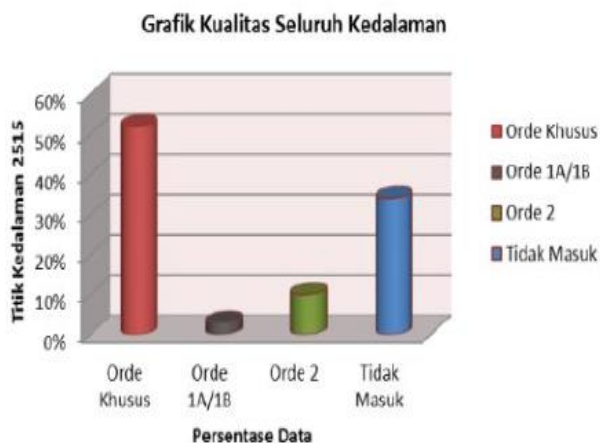


Hasil ekstraksi kedalaman laut pada data citra batimetri dengan data survei lapangan menggunakan ketentuan IHO diperoleh kualitas data sebagai berikut:

1. Pada kedalaman 0 sampai dengan 2 meter memiliki rasio ketelitian kedalaman 3,87 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 684 data dan terdiri dari 29 % masuk pada ketelitian orde khusus, 12 % masuk pada ketelitian orde 1A/1B, 31 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 28 % tidak masuk pada orde ketelitian.
2. Pada kedalaman 2,1 meter hingga 5 meter memiliki rasio ketelitian kedalaman 4,12 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 257 data dan terdiri dari 54 % masuk pada ketelitian orde khusus, 0 % masuk pada ketelitian orde 1A/1B, 18 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 28 % tidak masuk pada orde ketelitian.
3. Pada kedalaman 5,1 meter hingga 10 meter memiliki rasio ketelitian

kedalaman 12,24 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 310 data dan terdiri dari 40 % masuk pada ketelitian orde khusus, 0 % masuk pada ketelitian orde 1A/1B, 0 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 59 % tidak masuk pada orde ketelitian.

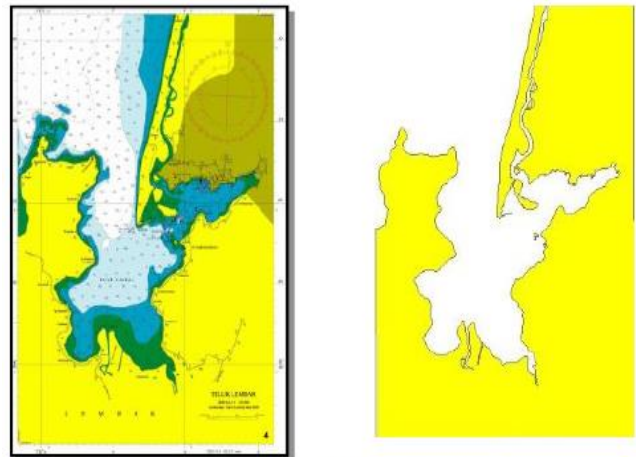
4. Pada kedalaman 10,1 meter hingga 20 meter memiliki rasio ketelitian kedalaman 3,01 meter dengan rincian data kedalaman yang diperoleh sebanyak 1264 data dan terdiri dari 67 % masuk pada ketelitian orde khusus, 0 % masuk pada ketelitian orde 1A/1B, 0 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 32 % tidak masuk pada orde ketelitian.



Untuk kualitas seluruh data kedalaman yang didapat dari hasil ekstraksi data citra batimetri dengan data survey lapangan diperoleh sebanyak 2515 data kedalaman memiliki tingkat rasio ketelitian kedalaman 8,15 meter, terdiri dari 52 % masuk pada ketelitian orde khusus, 3 % masuk pada ketelitian orde 1A/1B, 10 % masuk pada ketelitian orde 2 serta 34 % tidak masuk pada orde ketelitian.

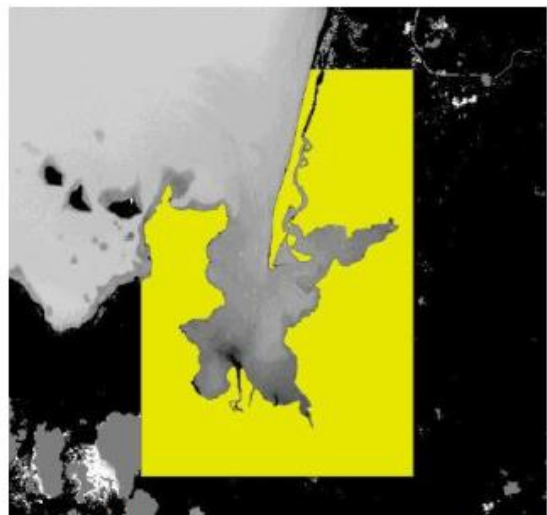
Peta batimetri hasil pengolahan citra dengan data lapangan, telah diperoleh citra baru yang memiliki informasi kedalaman pada setiap piksel. Dengan demikian, pemetaan kedalaman perairan dangkal dengan menggunakan citra Spot-7 baik digunakan untuk topografi bawah perairan yang relatif datar-landai agar lebih dapat menggambarkan detail topografinya. Dijitasi peta area survei yaitu peta laut No. 292 tahun 2013 untuk menjadi layout peta seperti gambar 4.17

kemudian dilakukan overlay dengan peta raster yang telah terbentuk akan menghasilkan seperti gambar 4.18.



Gambar Dijitasi Peta Laut No. 292 tahun 2013

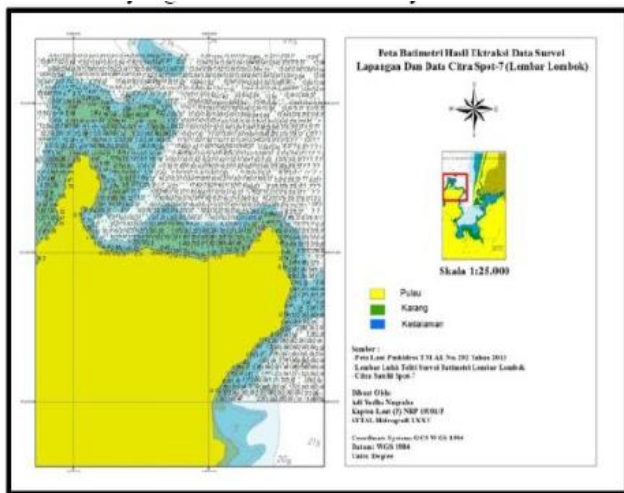
Kedalaman yang mampu diestimasi oleh algoritma *Stumpf & Holderied* untuk wilayah Lembar Lombok hingga mencapai 17,6 m yang merupakan kedalaman maksimal dari perairan dangkal daerah ini. Hal ini bisa saja terjadi karena metode *Stumpf & Holderied* memanfaatkan model kedalaman air relatif, model ini memungkinkan suatu korelasi antara piksel kedalaman relatif citra dengan data survei lapangan dalam sekalipun sehingga kedalaman yang terbentuk juga mengikuti data batimetri yang terkorelasi.



Tampilan Hasil *Overlay* Peta Laut Dengan Peta Raster

Pemanfaatan citra satelit Spot-7 merupakan teknik pemetaan batimetri perairan dangkal yang paling banyak dipergunakan saat ini (Lapan, 2013). Teknologi ini dipandang sebagai cara yang efektif dan efisien, terutama di daerah yang sama sekali belum ada data atau berubah sangat cepat. Teknik

ini memiliki tingkat keterbatasan menembus perairan antara 10,1 – 20 m hanya pada perairan yang jernih / perairan karang. Keunggulan data survei batimetri pada perairan dalam dimanfaatkan dengan mengkombinasikan hasil estimasi batimetri perairan dangkal wilayah Lembar Lombok untuk menciptakan peta batimetri hasil ekstraksi citra satelit yang lebih baik dan lebih nyata.



Peta Batimetri Hasil Ekstraksi Data Survei Lapangan Dan Data Citra Spot-7 (Lembar Lombok)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan Berdasarkan hasil pengolahan ekstraksi kedalaman laut menggunakan citra satelit SPOT-7 dengan data survey lapangan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Ekstraksi kedalaman dari citra satelit spot-7 menggunakan metode *Stumpf & Holderied* telah berhasil dengan diperolehnya kedalaman dari 0-29 meter sejumlah 2515 titik, kondisi pada saat perekaman citra dalam kondisi perairan yang relatif jernih.
2. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa model *Stumpf & Holderied* merupakan model yang terbaik dibandingkan dengan model regresi Rasio \ln_{band2}/\ln_{band1} dan Rasio \ln_{band3}/\ln_{band1} dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,4696 dan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,6853 dengan **RMSE** sebesar 2,0554.

3. Hasil uji akurasi Spot-7 untuk menghasilkan data kedalaman didapatkan nilai koefisien determinasi ($R^2 = 0,6205$), nilai korelasinya sebesar ($R = 0,7877182$) atau akurasi sebesar 78,77%.
4. Hasil penelitian klasifikasi nilai orde didapatkan hasil pengolahan dengan nilai rasio ketelitian kedalaman 3,01 meter pada kedalaman 10,1 meter hingga 20 meter terdiri dari 67% orde khusus, 0% orde 1A/1B, 0% orde 2 dan tidak masuk 34%.
5. Uji kualitas yang dihasilkan dalam menginterpretasikan angka kedalaman dari citra satelit spot-7 masih terdapat kualitas yang diluar orde, hal ini dapat disebabkan oleh kemampuan penetrasi citra satelit terhadap air laut.
6. Kedalaman yang diperoleh dari citra satelit dapat digunakan sebagai metode alternatif dalam memperoleh informasi batimetri namun lebih ideal untuk kedalaman sampai 10,1 – 20 meter.

Saran

1. Kedalaman laut hasil ekstraksi menggunakan citrasatelit SPOT-7 dengan data survei lapangan dapat dijadikan sebagai data untuk pembuatan peta laut khususnya untuk perairan dangkal yang memiliki kedalaman kurang dari 20 meter dengan kualitas sesuai standar IHO.
2. Hasil dari penelitian ini hanya diperuntukan pada daerah perairan dangkal wilayah Lembar Lombok Nusa Tenggara Barat, sedangkan untuk di daerah lain perlu dilaksanakan penelitian lebih lanjut.

Daftar Pustaka

Dishidros TNI-AL. (2015), "Survei Hidrografi", Jakarta
 Edmund P, G., Peter J, M., Alasdair J, E., & Chritopher D, C. (2000). *Remote Sensing Handbook for Tropical*

Coastal Management. Paris: United Nations Educational

ENVI, Image Sharpening_ENVIHelp

- Gordon, H.R., D.K.Clark, J.W.Brown, O.B.Brown, R.H.Evans, And W. W. Broenkow. 1983. Phytoplankton pigment concentrations in the Middle Atlantic Bight: Comparison of ship determinations and CZCS estimates. *Appl. Opt.*22:20–36
- Hedley, J. D., Susan, K., & Samantha, L. (2009). *Sun Glint Correction of High and Low Spatial Resolution mages of Aquatic Scenes: a Review of Methods for Visible and Near-Infrared Wavelengths*
- Hutomo, A., (2010), “*Aplikasi Citra Quickbird Untuk Pemetaan Batimetri Dan Pemetaan Objek Dasar Perairan Dangkal (Studi Kasus : Gobah Panggang, Kepulauan Seribu)*”,Bandung.
- IHO Standards for Hydrographic Surveys (2008), 5th Edition, Special Publication No. 44, Monaco
- LAPAN. 2014. Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Untuk Spesifikasi data SPOT-6 dan SPOT-7
- LAPAN. 2015. Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Untuk Ekosistem Terumbu Karang
- Laben et al., Proses untuk Meningkatkan Resolusi Spasial Multispektral Citra Menggunakan Pan-Sharpning, ENVIHelp. US Patent 6011875
- Lillesand, T.M. dan R.W. Kiefer. 1990 *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra* (Terjemahan dari “Remote Sensing and Image Interpretation” oleh Dulbari). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Lillesand TM, Kiefer RW, and Chipman JW,2004,Remote Sensing and Image Interpretation (5ed), John Wiley and Sons : New York
- Lyzenga, D. R. 1978. Passive remote sensing techniques for map-ping water depth and bottom features. *Appl. Opt.*17:379–383 -1985. Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data. *Int. J. Remote Sens.*6:115–125
- Mumby, P. J. (1999). *Classification Scheme for Marine Habitats of Belize*. UK: UNDP/GEF Belize Coastal Zone Management Project
- Philpot, W. D. 1989. Bathymetric mapping with passive multi-spectral imagery. *Appl. Opt.*28:1569–1578
- Phinn SR, Hough S, Anstee M,Roelfsema C M,and Dekker A, 2006,Assessment of the capabilities of remote sensing for mapping intertidal seagrass beds within the Great Barrier Reef Townsville, Reef and Rainforest CRC's
- Richardson, A. J., & Wiegand, C. L. 1977. *Distinguishing Vegetation From Soil Background Information. Photogrammetric Engineering And Remote Sensing* 43(12), 1541-1552
- Sirengar V. 2010. Pemetaan Substrat Dasar Perairan Dangkal Karang Congkak dan Lebar Kepulauan Seribu Menggunakan Citra Satelit Quickbird. *EJurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis: IPB Volume 2 No 1 edisi Juni 2010*; 19-30
- Soeprapto. 2001. Muka Surutan Peta (Chart Datum Dan Sounding Datum). Jurusan Teknik Geodesi. Fakultas Teknik. UGM. Yogtakarta. 202 Hlm.
- Stumpf, RPK. *Holderied* 2003, Penentuan Kedalaman Air dengan Resolusi Tinggi Citra Satelit Selama Jenis Variabel Bawah, *Limnologi dan Oseanografi*, 48 (1): 547-556
- Vrabel, 1996. Di dalam *Image Sharpning_ENVIHelp, Multispectral Imagery Band Sharpning Study, Photo Grammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 62, No. 9, pp. 1075-1083

Wicaksono P, 2010, Integrated Model of Water Column Correction Technique for Improving Satellite-Based Benthic Habitat Mapping. Master Thesis. Faculty of Geography Gadjah Mada University, Yogyakarta

Xiaoxia, S., Jixian, Z., & Zhengjun, L. (2004). *A Comparison of Object-Oriented and Pixel-Based Classification Approachs Using Quickbird Imagery*. Beijing: Chinese Academy of Surveing and mapping