

## KARAKTERISASI 3D SUBSTRAT BENTIK PERAIRAN KARANG PULAU BONETAMBUNG MAKASSAR

### The 3D Characterisation of Coral Waters Benthic Substrate of Bonetambung Island, Makassar

Muhammad Banda Selamat\*, Amir Hamzah Muhiddin dan Marzuki Ukkas

Diterima : 21 Mei 2014; Disetujui : 9 Juli 2014

#### ABSTRACT

*The objective of this study is to characterize benthic substrate of Bonetambung reef area using worldview 2 high resolution satellite imagery. About 14.273 depth spot were deploy to build bathymetric model of the study area. The correlation of pixel radiance value from satellite imagery and depth value from field measurement were became the basis to classify geomorphologic zone of shallow water area up to 7 meter depth. Between three interpolator tested, the natural neighbor interpolator has produced the best bathymetric model with root mean square error 0.3 meter and benthic substrate coverage model with thematic accuracy 62%. These approach be able to recognize four substrate type in general, such as sand, seagrass, rubble and coral. Geomorphologic segmentation based on bathymetric profile and radiance value of worldview 2 imagery may also maps the reef flat, reef slope and lagoon area hence may support the benthic substrate modeling. This study showed us a potential technic to develop a modelling for juvenile fish transport at Bonetambung coral waters.*

*Key words: benthic substrate bathymetry, worldview imagery, thematic accuracy*

#### PENDAHULUAN

Analisis spasial untuk wilayah yang luas menjadi sangat diperlukan saat ini sehubungan dengan berbagai bentuk eksploitasi sumberdaya hayati laut yang berlebihan, sehingga memunculkan kebutuhan pengelolaan dan konservasi kawasan (Kendall et al. 2003). Riset dan pengembangan teknologi untuk karakterisasi spasial substrat dasar penting dilakukan untuk mendukung kegiatan perencanaan dan pengelolaan wilayah pesisir dan laut, eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya hayati laut. Hal ini merupakan salah satu amanah dari Undang undang Republik Indonesia nomor 27 tahun 2007 tentang pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil yang menyatakan perlunya integrasi antara perencanaan pembangunan ekosistem darat dan laut, ilmu pengetahuan dan manajemen dalam pemanfaatan sumberdaya secara berkelanjutan.

Zona geomorfologi karang umumnya mudah dipetakan dari data penginderaan jauh (Mumby & Harborne 1999). Zona geomorfologi memiliki batas-batas yang tegas misalnya perbedaan kedalaman, sehingga dapat langsung di terjemahkan secara visual dari citra satelit meskipun tanpa survei lapangan. Studi yang dilakukan sebelumnya oleh Selamat et al. (2012) telah membuktikan bahwa segmentasi kedalaman berdasarkan zonasi geomorfologi, dapat meningkatkan akurasi karakterisasi spasial substrat dasar.

Dalam upaya memodelkan suatu bagian terrain dari suatu permukaan bumi, dibutuhkan sekumpulan data titik dari permukaan bumi tersebut. Model terrain digital (DTM) merupakan gambaran tiga dimensi permukaan tanah terbuka tanpa objek apapun di atasnya. Model permukaan digital (*Digital Surface Model/DSM*) adalah gambaran permukaan bumi termasuk objek-objek yang ada padanya seperti tanaman dan gedung.

Model elevasi digital (DEM) merupakan turunan dari DSM dan DTM, yaitu suatu bentuk penyajian informasi ketinggian muka bumi. Kebanyakan data yang diturunkan dari satelit dan wahana terbang lainnya sebenarnya merupakan DSM (Li et al. 2005). DEM dapat dibangun dari berbagai teknik pengukuran lapangan, penginderaan maupun di laboratorium. Beberapa teknik yang pernah

---

#### \* Korespondensi:

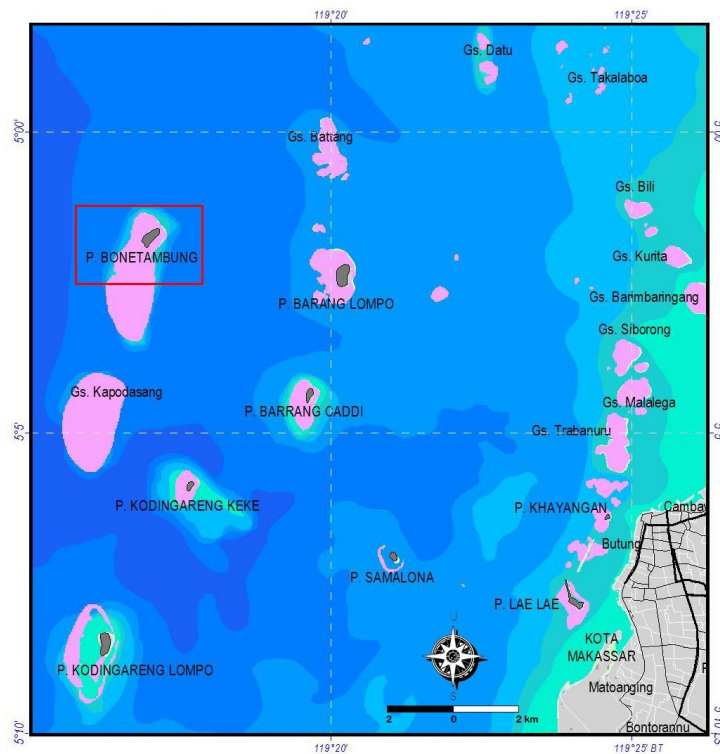
Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin  
Jl. Perintis Kemerdekaan Km 10, Tamalanrea, Makassar 90245  
Telp./Fax: (0411) 587000. E-mail: [mbandas2006@yahoo.com](mailto:mbandas2006@yahoo.com)

digunakan menurut Florinsky (2012), adalah: survei topografi, survei GPS, fotogrammetri, radar, survei laser, pemeruman dan penginderaan jauh optik.

Tujuan dilakukannya studi ini adalah untuk mengembangkan metode karakterisasi substrat 3D dengan pendekatan analisa citra berbasis objek (similaritas substrat, zona geomorfologi dan kedalaman). Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari studi ini adalah tersedianya geodatabase substrat dasar 3D kawasan Bonetambung, yang dapat digunakan untuk pemodelan arus dan estimasi pergerakan juvenil ikan-ikan karang.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih enam (6) bulan mulai dari Juni hingga Nopember 2013. Penelitian lapangan berlokasi di sekitar Pulau Bonetambung, Makassar. Survei lapangan dilakukan sebanyak dua kali yaitu pada 7 September dan 17 hingga 20 Oktober 2013. Kegiatan lapangan mencakup pengukuran pasang-surut, penentuan posisi, pemeruman batimetri, survei sedimen, survei penutupan lamun dan karang, serta perekaman objek dasar menggunakan wahana pencitra karang (WPK). WPK dibangun sendiri dari material berupa besi pelat, akrilik, PVC dan fiber. Peta lokasi penelitian lapangan disajikan pada Gambar 1. Pengolahan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Geomorfologi dan Manajemen Pantai, FIKP Unhas.



Gambar 1. Lokasi Studi

#### Pengamatan Pasang Surut (PDKK, 2004)

Pengamatan pasang surut dilakukan setiap jam dari tanggal 8 September hingga 7 Oktober 2013 menggunakan rambu pasut. Analisis komponen pasut pada hasil pengamatan dilakukan dengan metode *least-square* menggunakan program *t\_tide*. Konstanta harmonik yang dihasilkan digunakan untuk memprediksi perilaku pasang surut di luar waktu pengamatan.

## Survei Substrat Berbasis Video dan Pemeruman Batimetri

Survei habitat dasar perairan mencakup penentuan posisi, batimetri dan pengukuran dinamika muka laut (terutama pasang surut) secara simultan. Desain jalur survei mengikuti profil batimetri Pulau Bonetambung. Pencitraan habitat bentik dilakukan dengan menggunakan video yang ditempatkan pada wahana pencitra. Selain membawa kamera video, wahana pencitra juga untuk membawa sensor pengukur kedalaman dan posisi (GPS). Nilai kedalaman dari survei pemeruman dan dari citra kemudian disatukan dengan mengacu pada muka laut rata-rata. Gambar video dijadikan acuan untuk klasifikasi substrat pada citra.

## Zonasi Geomorfologi dan Karakterisasi Substrat

Citra Quickbird yang telah dikoreksi radiometrik, nilai pikselnya kemudian dikonversi ke nilai radiansi. Konversi ke nilai radiansi spektral di puncak atmosfer (top-of-atmosphere/TOA) berlangsung dalam dua tahap. Tahap pertama adalah konversi ke radiansi (Digital Globe 2010) dan tahap kedua adalah membagi radiansi dengan lebar pita panjang gelombang efektif.

Zonasi geomorfologi karang ditentukan berdasarkan nilai slope yang diperoleh dari profil melintang batimetri dan nilai spektral citra pada kanal merah dan infra merah dekat. Pengelompokan substrat dilakukan berdasarkan:

- 1) nilai piksel (tanda spektral) substrat dasar dari enam (6) kanal WorldView-2
- 2) kompilasi survei penutupan karang (foto PIT) dan lamun
- 3) hasil interpretasi mosaik citra video

Masing-masing tipe substrat yang telah ditentukan tipenya kemudian di plot pada citra sesuai dengan posisinya. Nilai-nilai piksel untuk substrat tersebut kemudian disadap dari kanal coastal, blue, green, yellow, red dan red edge dan dikelompokkan berdasarkan indeks kemiripan Bray Curtis (Clarke & Gorley 2006).

## Uji Interpolator Batimetri

Interpolasi data batimetri gabungan dari survei pemeruman dan citra dilakukan dengan menggunakan 4 interpolator yaitu kriging, nearest neighbor, inverse distance dan natural neighbor. Sejumlah sampel uji dari titik perum diambil untuk dibandingkan nilainya (pada lokasi geografi yang sama) dengan nilai hasil interpolasi. Pengambilan sampel diwakili oleh nomor lokasi (stasiun) dan untuk keperluan itu, sejumlah  $n$  bilangan acak dibangkitkan pada batas nilai yang disesuaikan dengan banyaknya data perum. Perbandingan antara nilai lapangan dengan nilai prediksi dilakukan dengan menggunakan parameter Akurasi (Höhle J dan Höhle M 2009).

## Analisis Citra berbasis Objek dan Uji Akurasi

Analisis citra berbasis objek dilakukan dengan tiga tahapan berikut (Blaschke, 2010):

1. Segmentasi citra. Untuk mendapatkan informasi penting dari suatu citra, segmentasi dilakukan agar citra terkelaskan menjadi "objek-objek primitif" yang merupakan unsur dasar pembentuk citra. Segmentasi dimengacu pada bentuk, ukuran, warna dan topologi piksel yang parameternya dikontrol oleh operator.
2. Menyusun Hirarki objek citra. Setiap level objek citra dihubungkan ke objek tetangganya yang sederajat, superobjek yang di atasnya (skala lebih kasar) dan subobjek yang dibawahnya (skala lebih detail).
3. Klasifikasi citra. Klasifikasi dilakukan dengan cara menetapkan kelas objek berdasarkan sejumlah kriteria dan fitur yang ditetapkan oleh operator.

Uji akurasi tematik kemudian dilakukan dengan cara membandingkan informasi spasial dari lapangan dengan peta citra hasil klasifikasi. Hitungan akurasi citra dilakukan dengan membuat matrik konfusi (Congalton dan Green, 2009). Perhitungan uji akurasi mencakup besaran overall accuracy, producer's accuracy, dan user's accuracy. Overall accuracy adalah persentase dari piksel yang terkelaskan dengan tepat, producer's accuracy adalah peluang rata-rata suatu piksel yang menunjukkan sebaran dari masing-masing kelas yang telah diklasifikasikan di lapangan dan user's accuracy adalah peluang rata-rata suatu pixel secara aktual yang mewakili kelas-kelas tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pasang Surut dan Model Batimetri

Pengamatan pasang surut di Bonetambung di lakukan setiap jam dari tanggal 8 September hingga 7 Oktober 2013 atau selama 30 piantan. Hasil analisa komponen harmonik dengan metode kuadrat terkecil memperlihatkan bahwa tipe pasang surut di kawasan ini merupakan tipe campuran dominan ganda. Nilai muka laut rata-rata yang diperoleh dari pengamatan adalah 0.97 meter. Konstanta harmonik digunakan untuk memprediksi tinggi air pada saat satelit melewati kawasan ini pada tanggal 16 September 2012 pukul 09:40 Waktu Indonesia Tengah. Nilai prediksi muka laut sesaat pada saat satelit Worldview memotret kawasan ini adalah sekitar 0.93 meter.

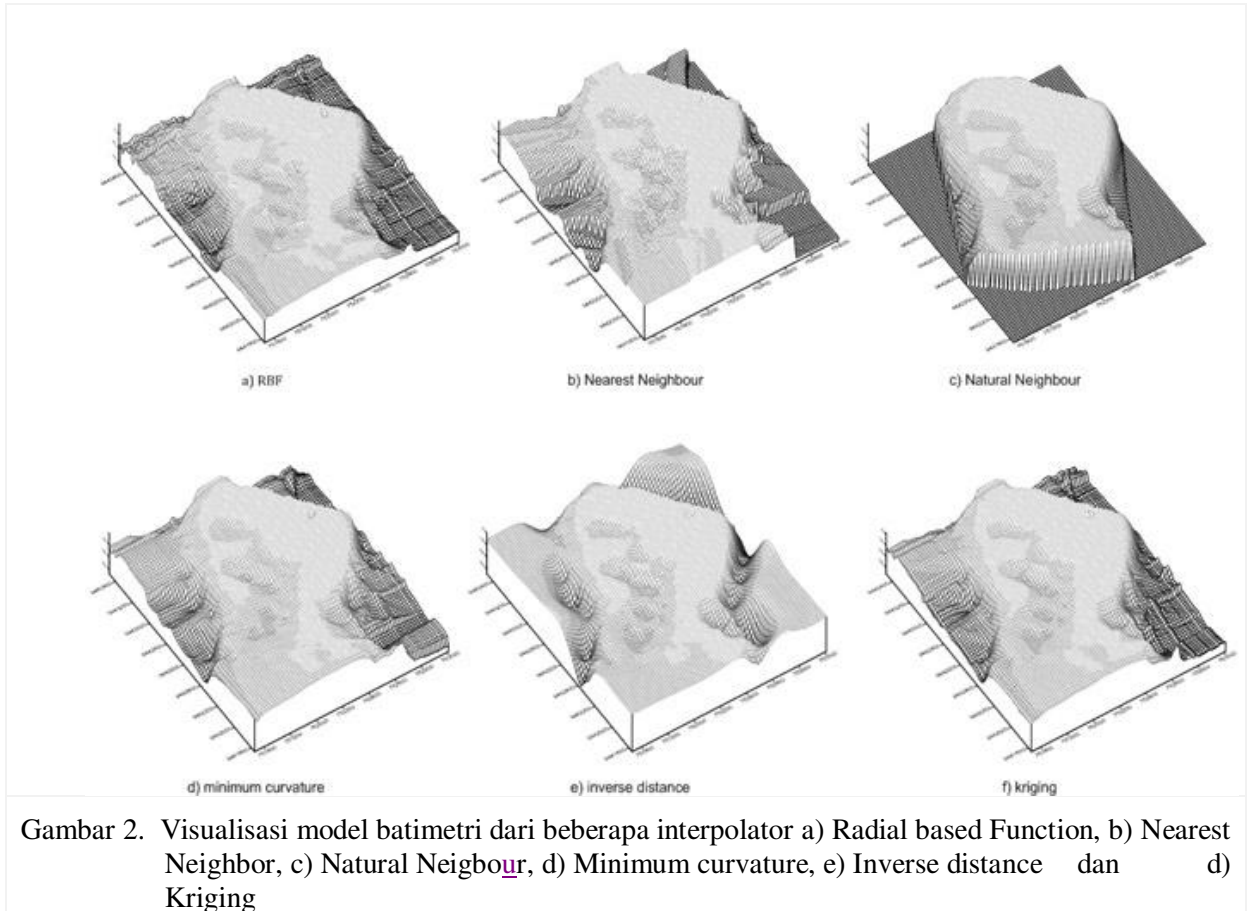
Pemeruman batimetri di perairan karang pulau Bonetambung menghasilkan sejumlah 14.273 titik perum. Data batimetri terkoreksi muka laut rata-rata kemudian digunakan untuk membangun model grid batimetri. Terdapat enam interpolator yang digunakan yaitu *natural neighbour*, *nearest neighbour*, *inverse distance*, *kriging*, *minimum curvature* dan *radial based function*. Hasil uji terhadap tiga interpolator batimetri yang dianggap memberikan visualisasi terbaik disajikan pada Tabel 1. Nilai RMSe interpolator *kriging* relatif sama dengan *natural neighbour* yaitu sekitar 0.3 meter. Kedua interpolator ini relatif memiliki *mean error* yang kecil. Dari tinjauan visual terhadap model yang dihasilkan (Gambar 2) disimpulkan bahwa selain mengestimasi nilai di dalam himpunan data yang ada, interpolator *kriging* juga mengestimasi nilai kedalaman di luar himpunan data. Sebaliknya, interpolator *natural neighbour* hanya menginterpolasi nilai dalam batasan wilayah yang sesuai data lapangan. Berdasarkan fakta-fakta tersebut maka interpolator *natural neighbour* telah dipilih untuk membangun model batimetri Bonetambung.

Tabel 1. Parameter akurasi interpolator batimetri (meter)

Parameter akurasi	Natural Neighbour	Minimum Curvature	Kriging
RMSE	0.30	0.45	0.29
Standar deviasi	0.17	0.34	0.17
Mean Error	0.09	0.20	0.09

### Zonasi Geomorfologi dan Karakterisasi Substrat

Profil rata-rata terumbu di Bonetambung tergolong relatif landai. Kelandaian di sisi Barat dan Timur masing-masing adalah 5° dan antara 8° hingga 13°. Bagian dalam rata-rata terumbu yang dapat dianggap sebagai "gobah" memiliki kelandaian antara 2° hingga 4° dengan daerah daerah terdalam mencapai 7.6 meter dibawah muka laut rata-rata. Sisi Barat Daya hingga Barat pulau Bonetambung memiliki profil batimetri yang lebih beragam relatif terhadap sisi lainnya. Bagian timur pulau merupakan rata-rata pasir, dangkal dan umumnya merupakan kawasan padang lamun. Di sisi Barat Laut meskipun memiliki substrat dasar dan kedalaman yang relatif hampir sama dengan sisi Timur, namun tidak dijumpai padang lamun.



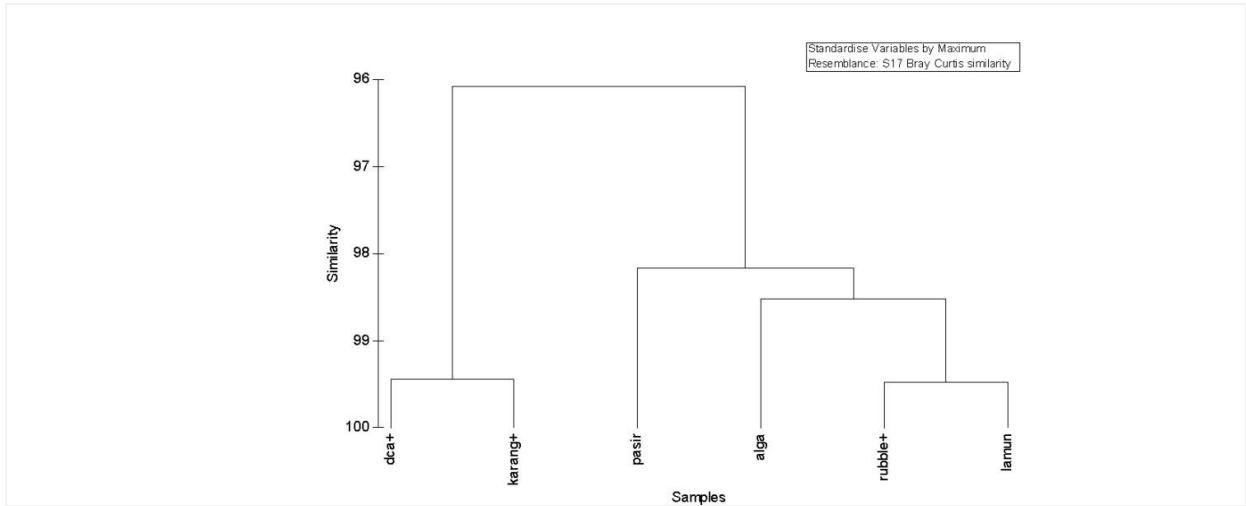
Zonasi geomorfologi mengacu pada terminologi dari Kuchler (1986) yang pada dasarnya merupakan pengembangan dari Maxwell (1968). Selain mempertimbangkan substrat bentik yang ada di wilayah studi, zonasi geomorfologi juga dilakukan berdasarkan profil kedalaman. Perairan karang Pulau Bonetambung dapat dikategorikan sebagai lagoonal platform reef dengan komponen zonasi geomorfologi terdiri atas : *reef slope*, *reef front*, *algal rim*, *coral zone*, *sand flat*, *lagoon* dan *lagoonal reef*. Selanjutnya, zonasi spasial geomorfologi dihasilkan dari citra Worldview dengan cara membandingkan profil batimetri lapangan profil nilai radiansi kanal 6 dan 4 (Gambar 32b). Dalam studi ini perairan karang di Bonetambung dikelompokkan menjadi zona *reef flat* (termasuk di dalamnya *algal rim*, *sand flat*, *reef front*), *reef slope* dan *lagoon*.

Indeks similaritas Bray Curtis telah digunakan untuk menetapkan secara statistik substrat yang nyata dapat dibedakan dari citra satelit. Gambar 3 memperlihatkan tingkat kemiripan kelompok substrat berdasarkan kedekatan nilai spektralnya. Ada empat kelompok substrat yang terpisah secara nyata berdasarkan nilai spektral yaitu:

1. Kelompok substrat dca+ dan karang+
2. Kelompok pasir+
3. Kelompok alga+
4. Kelompok rubble+ dan lamun+

Dengan pertimbangan banyaknya sampel dan pengamatan visual di lapangan, keempat kelompok substrat itu didefinisikan kembali menjadi :

1. Kelompok karang+ (termasuk dca+ dan alga+)
2. Kelompok pasir+
3. Kelompok rubble+
4. Kelompok Lamun+



Gambar 3. Indeks kemiripan (Bray-Curtis) substrat dasar di Bonetambung

Pertimbangan distribusi kedalaman substrat juga dimasukkan proses karakterisasi, sehingga perlu dicari pola hubungan antara nilai piksel kanal-kanal 1 hingga 6 citra worldview terhadap kedalaman untuk keempat substrat tersebut. Dari keenam kanal tersebut dapat dikatakan bahwa kanal 6 adalah kanal yang paling tidak sensitif terhadap perubahan kedalaman, sementara kanal yang paling representatif adalah kanal 5 dan 4. Kompilasi persamaan penduga kedalaman berdasarkan tipe substrat dan koefisien attenuasi diffuse disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persamaan regresi kedalaman substrat dan koefisien attenuasi

Substrat	Persamaan regresi	Koefisien	
		determinansi (R <sup>2</sup> )	Koefisien attenuasi difus
Pasir +	Y=0.401x+0.663	0.971	0.401
Lamun +	Y=0.452x+0.334	0.966	0.452
Rubble +	Y=0.090x+0.455	0.803	0.090

Akurasi tematik dihasilkan dari matriks kontingensi antara data lapangan (yang dianggap benar) dengan data citra hasil klasifikasi (Tabel 3). Nilai kesalahan total diperoleh dari akumulasi kesalahan di setiap langkah seperti penentuan tipe substrat dari video, posisi gambar, posisi objek di citra dan serangkaian proses pengolahan citra. Nilai kesalahan total yang dihasilkan adalah 36% (total Kappa) atau setara dengan akurasi 64%. Nilai ini sebenarnya dapat dikatakan rendah namun berpotensi untuk ditingkatkan dengan menyempurnakan tahapan-tahapan yang mendahuluinya.

Tampilan dari karakterisasi 3D substrat dasar telah menghasilkan model batimetri substrat seperti yang disajikan pada Gambar 4b. Secara umum terdapat empat tipe substrat yang dikenali dengan persentase luasan dan akurasi tematik masing-masing dirinci pada Tabel 4. Model batimetri substrat menyajikan secara lebih tegas distribusi spasial dan vertikal tipe substrat pada zona-zona geomorfologi Pulau Bonetambung. Sebaran tipe substrat ini agak sulit dikenali pada citra worldview yang asli (Gambar 4a). Selain itu, tampilan model batimetri substrat secara tiga dimensi ini dapat secara langsung menggambarkan profil vertikal lingkungan perairan karang di sekitar Pulau Bonetambung.

Tabel 3. Matriks akurasi tematik

	karang	lamun	rubble	pasir	total	errorC
Unclass	3	9	3	1	7	1.0000
Karang +	42	0	18	6	65	0.3538
Lamun +	0	11	0	12	23	0.5217
Rubble +	15	10	26	15	66	0.6061
Sand +	1	3	9	28	41	0.3171
Total	61	24	56	61	202	
ErrorO	0.3115	0.5417	0.5357	0.5410		0.4703

ErrorO = Errors of Omission (expressed as proportions)  
 ErrorC = Errors of Commission (expressed as proportions)

90% Confidence Interval = +/- 0.0578 (0.4125 - 0.5281)

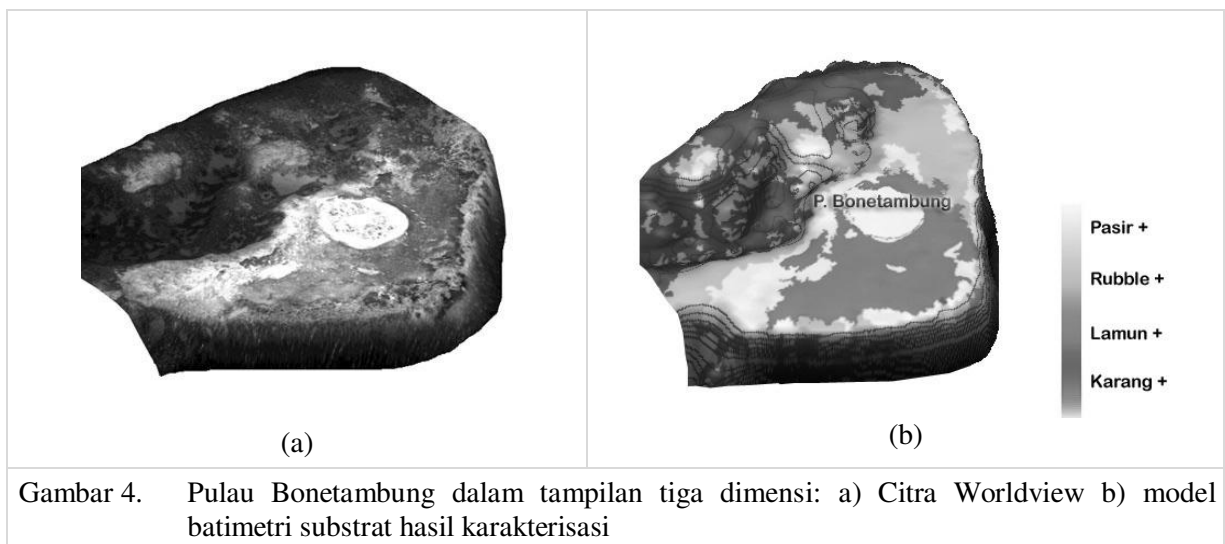
95% Confidence Interval = +/- 0.0688 (0.4015 - 0.5391)

99% Confidence Interval = +/- 0.0906 (0.3797 - 0.5609)

Overall Kappa = 0.3622

Tabel 4. Luasan Substrat dan akurasi tematik

Tipe substrat	Luas (hektar)	Persen luas	Akurasi tematik
Karang +	46.6	36%	48%
Lamun +	15.1	12%	60%
Rubble +	31.8	25%	82%
Pasir +	35.3	27%	57%
Total	128.8	100%	62%



Gambar 4. Pulau Bonetambung dalam tampilan tiga dimensi: a) Citra Worldview b) model batimetri substrat hasil karakterisasi

## KESIMPULAN

Model batimetri Pulau Bonetambung telah dibangun menggunakan enam *interpolator*. Metode *natural neighbor* memberikan visualisasi batimetri terbaik dengan akurasi 0.3 meter. Terdapat tiga zonasi geomorfologi yang dikenali dari profil batimetri dan citra yaitu *reef/sand flat*, *reef slope* dan *gobah*. Indeks smilaritas Bray Curtis telah digunakan sebagai dasar untuk karakterisasi tipe substrat dari citra Worldview dan menghasilkan akurasi tematik sebesar 62% untuk 4 tipe substrat yaitu pasir, lamun, rubble serta karang. Tipe substrat karang memiliki persentasi luasan tertinggi (36%) dan tipe substrat dengan luasan terendah adalah lamun (12%). Dari sisi akurasi tematik, rubble merupakan substrat dengan akurasi tematik tertinggi yaitu 82% dan karang merupakan substrat dengan akurasi tematik terendah yaitu hanya 48%. Model batimetri substrat secara visual dapat memberikan gambaran yang lebih tegas distribusi substrat bentuk diperairan karang baik secara horizontal maupun vertikal. Studi lanjutan masih perlu dilakukan terutama untuk peningkatan akurasi tematik, namun demikian model batimetri substrat ini potensial untuk digunakan pada pemodelan arus guna memprediksi ruaya ikan di zona-zona geomorfologi perairan pulau Bonetambung.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh dana BOPTN Universitas Hasanuddin tahun anggaran 2013. Penulis mengucapkan terima kasih pada para mahasiswa yang ikut serta dalam pengumpulan data di lapangan: Yushra, Syamsul Rijal, Nugraha Maulana, Abd Tholib, Rahmadi dan Widya.

## Daftar Pustaka

- [PDKK] Pusat Pemetaan Dasar Kelautan dan Kedirgantaraan. 2004. **Survei Hidrografi – Norma Pedoman Prosedur Standar dan Spesifikasi**. Cibinong: Bakosurtanal
- Blaschke T. 2010. **Object based image analysis for remote sensing**. ISPRS Journal of Photogram. and Rem. Sens. 65: 2-16.
- Clarke KR, Gorley RN. 2006. **PRIMER v6: User manual/tutorial**. Plymouth: PRIMER-E. hlm 43-67.
- Congalton RG, Green K. 2009. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Florida: CRC Pr.
- Digital Globe. 2010. **Radiometric Use of WorldView-2 Imagery-Technical Note**. 17 hal
- Florinsky IV. 2012. **Digital terrain analysis in soil science and geology**. Academic Press. 395 hal
- Höhle J, Höhle M. 2009. Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods. ISPRS J. Photog. and Remote Sen. 64:398-406.
- Kendall MS, Christensen JD, Hillis-Starr Z. 2003. **Multi-scale data used to analyze the spatial distribution of French grunts, *Haemulon flavolineatum*, relative to hard and soft bottom in a benthic seascape**. Environ Biol Fishes. 66:19–26.
- Knudby A, Roelfsema C, Lyons M, Phinn S, Jupiter S. **Mapping fish community variables by integrating field and satellite data, object-based image analysis and modeling in a traditional Fijian fisheries**. 2011. Manag. Area Remote Sens 3: 460-483.
- Kuchler DA. 1986. **Geomorphological Nomenclature: Reef Cover and zonation of The Great Barrier Reef**. GBRMPA-TM-8. 39 hal.
- Li Z, Zhu Q, Gold C. 2005. **Digital terrain modelling: principles and Methodology**. CRC Press. 325 hal.
- Mumby PJ, Harborne AR. 1999. **Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs**. *Biologic. Conserv.* 88:155-163.
- Pittman SJ, Christensen JD, Caldow C, Menza C, Monaco ME. 2007. **Predictive mapping of fish species richness across shallow-water seascapes in the Caribbean**. *Ecological Modelling*. 204:9–21.
- Selamat MB, Siregar VP, Indra Jaya, Hestirianoto. 2012. **Zonasi geomorfologi dan koreksi kolom air untuk pemetaan substrat dasar menggunakan citra Quickbird**. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. Vol 2 no 1