

Akurasi Tematik Peta Substrat Dasar dari Citra Quickbird (Studi Kasus Gusung Karang Lebar, Kepulauan Seribu, Jakarta)

Muhammad Banda Selamat^{1*}, Indra Jaya², Vincentius P Siregar² dan Totok Hestirianoto²

¹Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasannudin
Jl. Perintis Kemerdekaan km 10, Makassar 90245 email:mbandas2006@yahoo.com

²Departemen Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor,
Jl. Agatis No.1, Bogor 16680, Indonesia
email:indrajaya@ipb.ac.id, vincents@biotrop.org, totokhestirianoto@ipb.ac.id

Abstrak

Salah satu kelemahan metode koreksi kolom air adalah dapat memunculkan bias dalam estimasi rasio koefisien attenuasi. Bias ini berkontribusi pada nilai akurasi tematik peta substrat dasar. Studi ini menggunakan pendekatan zonasi geomorfologi untuk meningkatkan akurasi tematik peta substrat yang dihasilkan dari metode koreksi kolom air. Nilai piksel citra Quickbird dikonversi ke radiansi dan dilanjutkan dengan koreksi kolom air untuk menghasilkan peta substrat dasar dengan tiga tema ekosistem, yaitu ekosistem pantai berpasir dengan substrat dominan pasir, ekosistem lamun dan terumbu karang. Data lapangan dikelompokkan menggunakan metode Bray curtis dan menjadi dasar bagi reklasifikasi. Profil geomorfologi pada citra satelit disadap dari gabungan kanal hijau dan merah, mengacu pada hasil survei batimetri. Pendekatan kombinasi ini terbukti dapat meningkatkan akurasi tematik peta substrat dasar hingga lebih dari 20%.

Kata kunci : quickbird, substrat dasar, akurasi tematik

Abstract

Thematic Accuracy of Bottom Substrate Map from Quickbird Imagery (Case study: Gusung Karang Lebar, Kepulauan Seribu, Jakarta)

Bias may occur on attenuation coefficient ratio estimated from water column correction method. This bias then contribute to thematic accuracy of bottom substrate images. This study used geomorphologic spatial zonation to improve thematic accuracy of bottom substrate maps that produced from water column correction method. Quickbird pixel values were converted to the top of atmosphere radiance and followed by water column correction to make bottom substrate map with three themes ecosystem i.e. sandy ecosystem, seagrass ecosystem and coral reef ecosystem. Field data were grouped using Bray Curtis method and become basis of image reclassification. Geomorphological profile was extracted from green and red composite images, refer to a bathymetric survey. These combined approaches were significantly proved to improve thematic accuracy up to more than 20%.

Key words: quickbird, bottom substrate, thematic accuracy

Pendahuluan

Banyaknya kelas habitat yang dapat dikenali oleh penginderaan jauh bergantung pada beberapa faktor, seperti jenis wahana, sensor, kondisi atmosfer, kejernihan perairan dan kedalaman. Andréfouët *et al.* (2003) menggunakan citra satelit *Ikonos* multispektral untuk pemetakan habitat terumbu karang. Akurasi tematik yang diperoleh berkurang secara linier dengan semakin kompleksnya habitat. Purkis (2005) mempero-

leh delapan kelas habitat perairan dangkal dari citra satelit *Ikonos* dengan akurasi 69%. Lyons *et al.* (2011) mendapatkan akurasi peta bentik dari *Quickbird* dalam kisaran 57–95%, dan Vahtmäe *et al.* (2011) menghasilkan tujuh kelas bentik dari citra satelit *Quickbird* dengan akurasi 62%.

Faktor kedalaman yang mempengaruhi sidik spektral habitat dapat di-eliminasi dengan koreksi kolom air (Lyzenga, 1978; Lyzenga, 1981). Metode ini meng-

hasilkan indeks dasar tak dipengaruhi kedalaman dan berhasil baik pada perairan dangkal yang jernih, seperti di terumbu karang. Kelemahannya adalah nilai indeks tidak mewakili reflektansi objek dan sering menimbulkan masalah untuk objek yang ditemukan pada banyak kedalaman, sehingga terjadi bias dalam estimasi rasio koefisien attenuasi (Maritorena, 1996). Meskipun demikian, metode ini signifikan meningkatkan akurasi terumbu karang (Mumby, 1998). Metode ini efektif bila tipe substrat setiap piksel diidentifikasi dan ditentukan kedalamannya (Hedley dan Mumby, 2003).

Penyidikan lingkungan terumbu terumbu karang berdasarkan zonasi geomorfologi menjadi salah satu aplikasi penginderaan jauh satelit yang paling sukses, mulai dari era satelit *Landsat* hingga saat ini (Andrefouet *et al.*, 2001). Zona geomorfologi ini diketahui berasosiasi dengan profil kedalaman dan struktur komunitas bentik tertentu. Oleh karena zona tersebut menempati skala ruang hingga ratusan meter, maka keberadaannya dapat dideteksi secara spasial oleh satelit resolusi menengah, seperti *Landsat TM*, *ETM+*, *SPOT-HRV*, *ASTER* dan tentunya oleh satelit resolusi lebih tinggi, seperti *Ikonos* dan *Quickbird*.

Phinn *et al.* (2008) menyatakan bahwa untuk pemetaan spesies, penutupan dan biomass lamun menggunakan teknologi CASI (*Compact Airborne Spectrographic Imager*) belum dimungkinkan pencapaian akurasi tinggi (>80). Dari semua aspek yang dipetakannya, CASI menghasilkan akurasi total yang paling tinggi (46%), diikuti oleh *Landsat-5 TM* (36%) dan *Quickbird-2* (31%). Rendahnya tingkat akurasi disebabkan oleh kesulitan pencocokan posisi antara citra dan data lapangan. Mumby dan Edwards (2002) membandingkan akurasi citra *Ikonos*, *Landsat Multispectral Scanner* (MSS), *Thematic Mapper* (TM), *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (SPOT) *High-Resolution Visible* (HRV) dan CASI untuk pemetaan habitat laut dangkal. Meskipun hampir 20% lebih akurat daripada *landsat TM*, citra *Ikonos* tidak mampu membedakan 13 kategori karang, alga dan lamun (akurasi total 50%). Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah menghasilkan peta substrat dasar dari citra satelit *quickbird* menggunakan koreksi kolom air, meningkatkan akurasi peta substrat dasar dari citra satelit *Quickbird* menggunakan kombinasi koreksi kolom air dan profil geomorfologi, dan membandingkan akurasi tematik peta substrat dasar yang dihasilkan.

Materi dan Metode

Data yang digunakan adalah citra satelit *Quickbird* multispektral 4 kanal liputan tanggal 28

September 2008, yang memiliki resolusi spasial 2,44 m. Survei lapangan dilakukan pada tanggal 13-17 Mei 2008, 22-26 Juli 2008 dan 4-8 Juni 2010 berlokasi di Gusung Karang Lebar, Kepulauan Seribu, Jakarta. Kegiatan lapangan mencakup penentuan tipe dasar perairan, penentuan posisi, dan pemeruman batimetri. Peralatan yang digunakan adalah mapsonder, GPS, camcorder, kamera digital, rambu pasang surut, dan perahu.

Konversi nilai digital ke radiansi dan koreksi kolom air

Konversi nilai digital citra satelit *Quickbird* yang telah dikoreksi radiometrik ke nilai radiansi, ditentukan oleh tanggal liputan dan nilai bitnya. Nilai-nilai ini tersedia di dalam metadata citra yang berekstensi *.IMD. Konversi ke nilai radiansi spektral di puncak atmosfer (*top-of-atmosphere/TOA*) berlangsung dalam dua tahap. Tahap pertama adalah konversi ke radiansi (Krause, 2003). Tahapan kedua adalah membagi radiansi dengan panjang gelombang efektif (Krause, 2003).

Koreksi kolom air mengikuti metode Lyzenga (1978) dan Green *et al.* (2000). Sebaran cahaya di atmosfer dan pantulannya dari permukaan air dieliminasi dengan rumus: $radiansi\ terkoreksi\ atmosfer = L_i - L_{si}$. L_i adalah radiansi piksel kanal i , dan L_{si} adalah radiansi rata-rata laut dalam pada kanal i . Nilai-nilai kedalaman dilinierisasi terhadap nilai radiansi: $X_i = \ln(L_{si})$. Nilai radiansi substrat kemudian diregresikan pada kedalaman yang berbeda mengikuti rumus: $L_i = L_{si} + a.r.e^{(2kjz)}$. a adalah konstanta, r menyatakan besaran reflektansi dasar, z adalah nilai kedalaman dan k = koefisien attenuasi. Sebaran indeks dasar akan mengikuti suatu garis lurus: $p = y - q.x$, bila q adalah gradien garis regresi dan $y = \ln(L_i)$, serta $x = \ln(L_{si})$ maka:

$$(kedalaman-indeks\ varian_{ij}) = \ln(L_i) - [(ki/kj). \ln(L_{si})]$$

Setiap pasangan kanal spektral akan menghasilkan kanal baru yang nilai pikselnya tidak dipengaruhi kedalaman dan spesifik untuk satu jenis substrat.

Profil geomorfologi gusung karang lebar

Studi batimetri oleh Siregar *et al.* (2010) memperlihatkan bahwa profil melintang kedalaman di Gusung Karang Lebar secara garis besar terbagi menjadi 3 zona yaitu: zona gobah dengan kedalaman 10 hingga 14 meter, zona rata pasir dengan kedalaman kurang dari 5 meter, dan zona tubir curam dengan kedalaman lebih dari 14 meter (Gambar 1a). Gambaran profil melintang yang hampir sama dapat diperoleh dari sadapan nilai piksel kombinasi kanal hijau dan merah citra satelit *Quickbird* (Gambar 1b).

Pengelompokan substrat dasar

Konsistensi penilaian tipe substrat diukur dengan cara mengelompokkan nilai piksel berdasarkan indeks kemiripan Bray Curtis. Masing-masing tipe substrat yang telah ditentukan tipenya di lapangan di plot pada citra sesuai dengan posisi koordinatnya. Nilai-nilai piksel untuk substrat tersebut kemudian disadap dari masing-masing kanal, dan dihitung indeks kemiripannya mengikuti formula Bray Curtis (Clarke dan Gorley, 2006):

$$S = 100 \left(1 - \frac{\sum_i |y_{i1} - y_{i2}|}{\sum_i y_{i1} + \sum_i y_{i2}} \right)$$

S adalah kemiripan Bray Curtis substrat 1 dan 2, y_{i1} adalah nilai piksel pada kanal ke-i untuk substrat 1, y_{i2} adalah nilai piksel kanal ke-i untuk substrat 2.

Uji akurasi tematik

Matriks kesalahan tersusun dari senarai berukuran n kali n, dimana n adalah banyaknya kelas objek yang ada di peta (Stehman, 1996; Congalton dan Green, 1999). Misalkan N piksel citra satelit diklasifikasikan ke dalam q kategori. Dengan menyesuaikan semua N piksel dan klasifikasi yang dianggap benar untuk setiap piksel, maka bentuk matrik kesalahan populasinya dapat disajikan seperti Tabel 1.

Tabel 1. Matrik Kesalahan

	Lapangan				Total baris	
	1	2	...	q		
Citra	1	N11	N12	...	N1q	N1
	2	N21	N22	...	N2q	N2
	:	:	:	...	:	:
	q	Nq1	Nq2	...	Nqq	Nq
Total Kolom	M1	M2	...	Mq	N	

Bila kelas-kelas pada citra merupakan strata dalam sampling stratifikasi, maka total baris N_h telah diketahui sementara total kolom tidak diketahui. Banyaknya data masukan N_{hj} juga belum diketahui. Nilai Kappa dihitung dengan rumus (Stehnan, 1996) :

$$KAPPA = \frac{\sum_{i=1}^q P_{ii} - \sum_{i=1}^q P_{i+} P_{+i}}{1 - \sum_{i=1}^q P_{i+} P_{+i}}$$

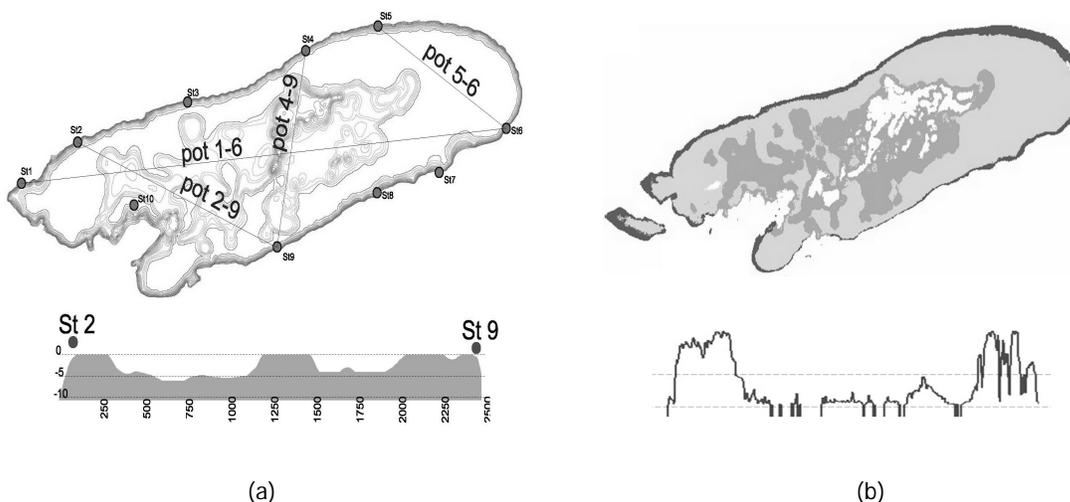
$P_{ii} = \frac{N_{ii}}{N}$, $P_{i+} = \frac{N_i}{N}$, dan $P_{+i} = \frac{M_i}{N}$, kappa merupakan parameter populasi, sehingga tidak berubah dengan perbedaan desain sampling.

Hasil dan Pembahasan

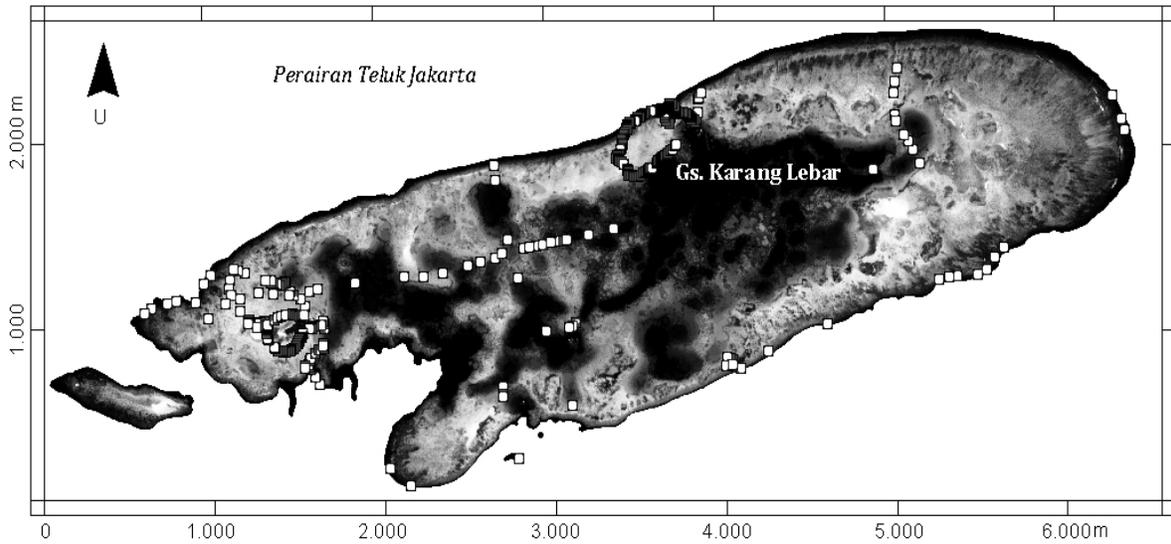
Kelompok substrat dasar dominan

Sejumlah 325 titik sampling di Karang Lebar telah ditentukan tipe substratnya berdasarkan penilaian visual. Distribusi titik sampling tersebut disajikan pada Gambar 2. Terdapat 16 tipe substrat dasar berbeda yang dapat dikenali oleh surveyor dilapangan yaitu: terumbu karang hidup, terumbu karang hidup bercampur alga dan lamun, terumbu karang hidup bercampur terumbu karang mati, terumbu karang hidup bercampur pasir, terumbu karang mati, terumbu karang mati bercampur terumbu karang hidup, terumbu karang mati bercampur pasir, terumbu karang mati bercampur pasir dan alga, lamun, lamun bercampur pasir, pasir, pasir bercampur terumbu karang hidup, pasir bercampur terumbu karang mati, pasir bercampur lamun, pasir bercampur patahan karang, pasir bercampur patahan karang dan alga

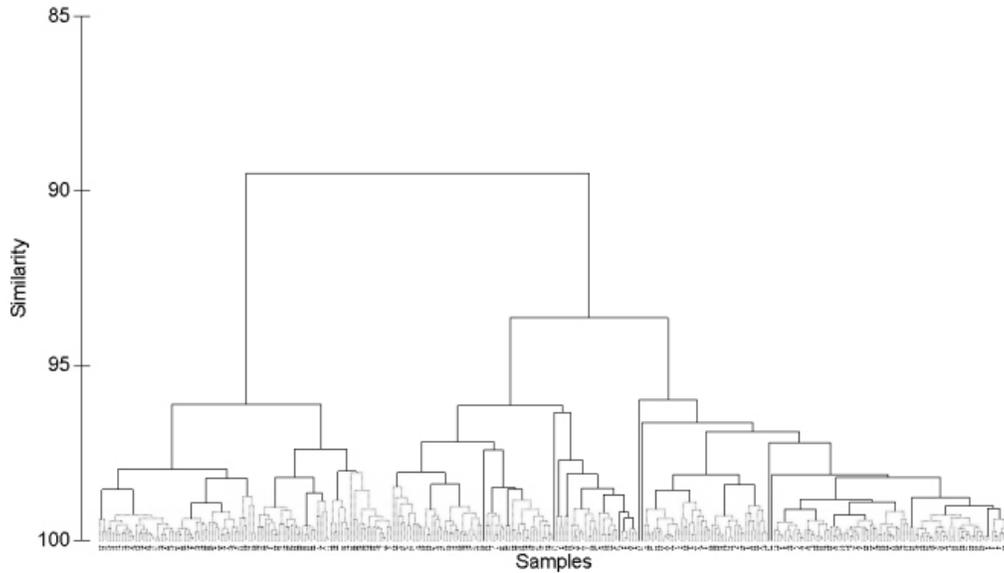
Konsistensi penilaian lapangan tersebut diuji dengan cara mengelompokkan nilai piksel substrat berdasarkan metode Bray Curtis. Hasil pengelompokan.



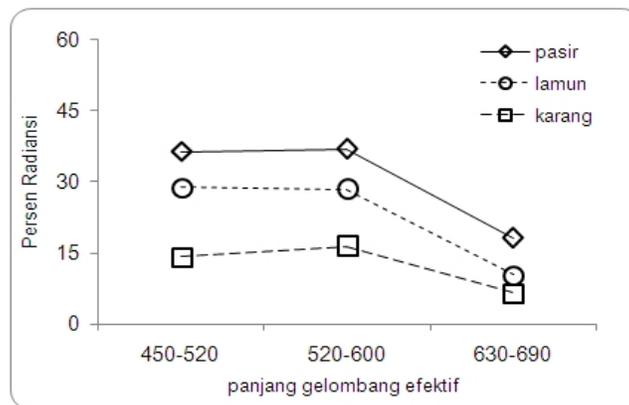
Gambar 1. Profil melintang: a) Batimetri, b) nilai piksel Quickbird



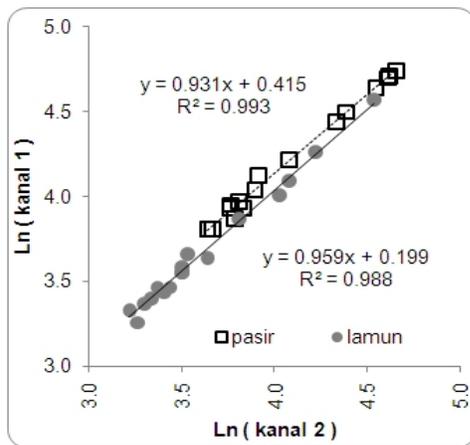
Gambar 2. Distribusi titik sampling di Gosong Karang Lebar Kepulauan Seribu. Tanda □ adalah titik sampling



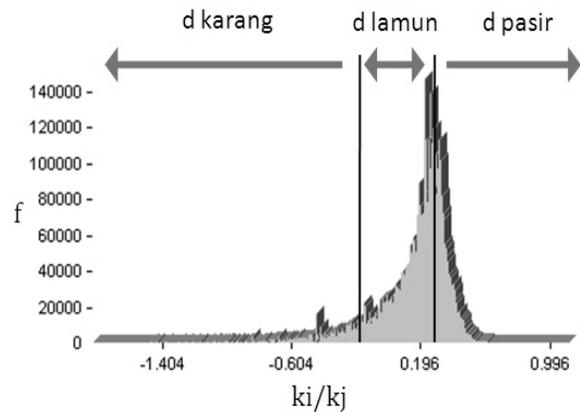
Gambar 3. Kemiripan Bray Curtis dari 325 titik sampling berdasarkan Nilai Pksel Substrat



Gambar 4. Sidik Spektral Substrat Dasar dari nilai radiansi piksel Quickbird



(a)



(b)

Gambar 5. a) Gabungan indeks Substrat pasir dan lamun dan b) nilai batas pemotongan dalam reklasifikasi citra indeks dasar

memperlihatkan bahwa pada taraf kepercayaan kemiripan 90%, hanya ada dua tipe substrat yang signifikan berbeda, yang dalam hal ini dipastikan sebagai tipe biotik dan abiotik (Gambar 3). Bila taraf kepercayaan di tingkatkan menjadi 95% maka diperoleh 3 tipe substrat dominan, yaitu lamun dan terumbu karang (biotik) serta pasir (abiotik). Fakta dominansi substrat ini dipertegas oleh tampilan sidik spektral ketiga tipe substrat tersebut (Gambar 4) yang dibandingkan dengan hasil studi Maeder *et al.* (2002).

Citra indeks dasar

Koreksi kolom air menghasilkan nilai indeks dasar yang spesifik untuk masing masing tipe substrat. Implementasi metode koreksi kolom air pada citra satelit *Quickbird* di *Gusung Karang Lebar* ini menghasilkan nilai batas indeks dasar untuk pasir adalah 0,415 dan lamun adalah 0,199 (Gambar 5a). Sementara nilai indeks di bawah 0,199 dapat ditetapkan sebagai tipe dasar terumbu karang. Hasil *density slicing* pada histogram citra indeks dasar (Gambar 5b).

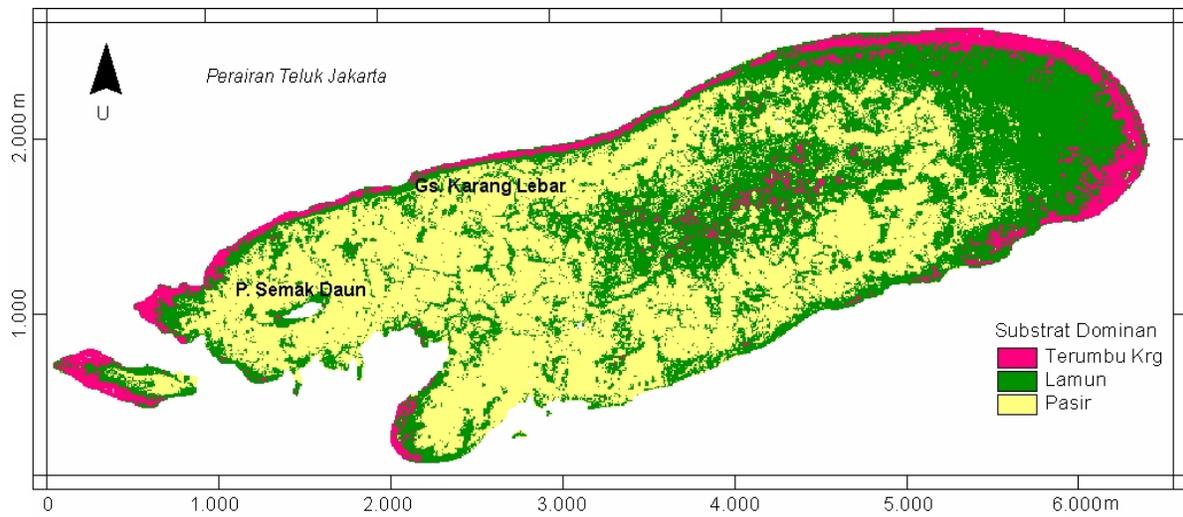
Penggabungan citra indeks dasar dan citra zona geomorfologi

Penggabungan citra *Quickbird* kanal hijau dan merah dijadikan dasar untuk mendekomposisi spasial zona geomorfologi. Citra gabungan mula-mula disadap profil melintang nilai digitalnya, kemudian direklasifikasi sehingga diperoleh gambaran spasial zona geomorfologi lokasi studi. Zona spasial geomorfologi ini digunakan sebagai *mask* dalam pemotongan nilai-nilai digital citra indeks dasar. Kombinasi ini menghasilkan beberapa berkas raster, yaitu citra dominan pasir di zona rataaan terumbu dan gobah, citra dominan lamun di zona rataaan

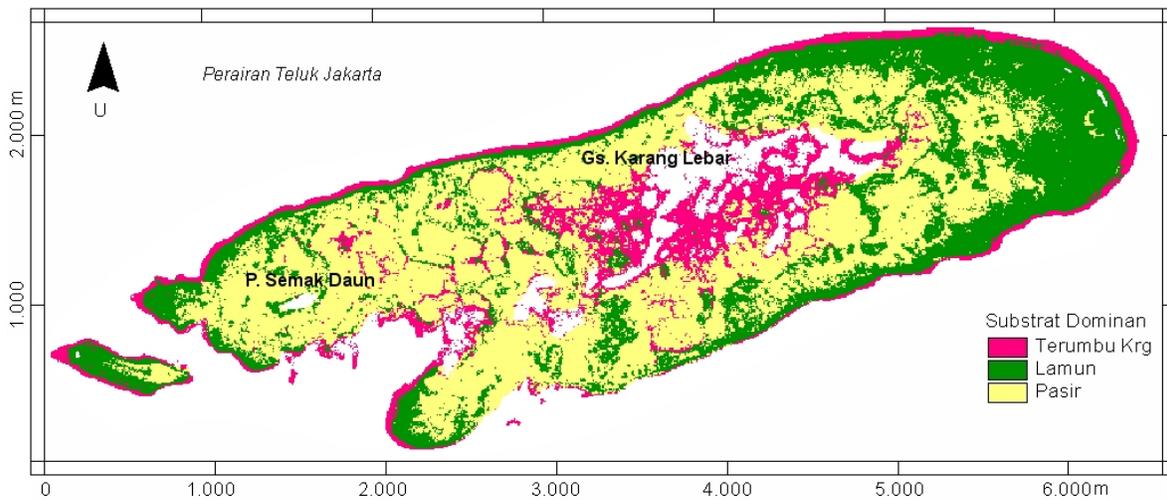
terumbu dan tubir, citra dominan terumbu karang di gobah dan tubir. Potongan citra yang mewakili substrat dominan pada zona geomorfologi ini kemudian digabungkan kembali untuk menggambarkan distribusi 3 substrat dominan di *Gusung Karang Lebar* (Gambar 7).

Bila Gambar 6 dan 7 dibandingkan dapat dilihat bahwa metode KA kurang peka untuk mendeteksi tipe substrat terumbu karang di dalam gobah. Kondisi ini kemungkinan terjadi karena adanya perbedaan kualitas perairan antar zona geomorfologi. Selain itu kemungkinan terjadi bias dalam penentuan rasio koefisien attenuasi (Maritorena, 1996) yang mempengaruhi penetapan nilai batas untuk masing-masing tipe substrat dasar. Sebaliknya metode KAG menghasilkan deteksi terumbu karang yang lebih baik dan mengindikasinya sebagai solusi untuk mengatas faktor perbedaan kualitas perairan akibat perbedaan zona tersebut.

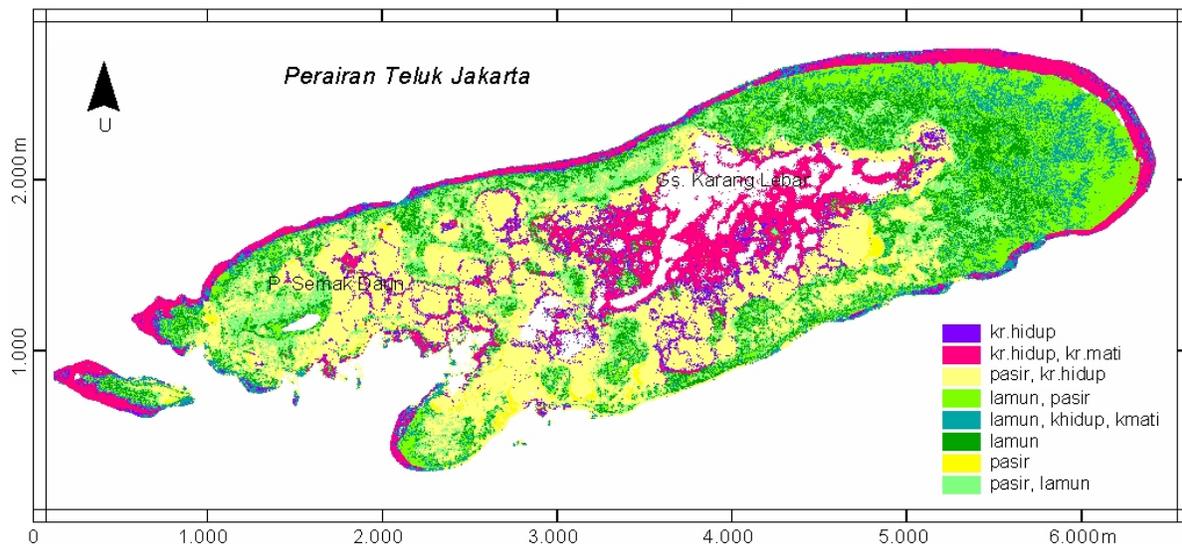
Mengacu pada indeks kemiripan Bray Curtis pada taraf 97% (Gambar 3), dari 325 titik lapangan dapat dibedakan 8 kelompok substrat yaitu dominan terumbu karang hidup (80% dari 57 titik cek), terumbu karang hidup dan terumbu karang mati (50% dari 48 titik), pasir dan terumbu karang hidup (72% dari 58 titik), lamun bercampur pasir (1 titik), lamun dan terumbu karang hidup dan terumbu karang mati (59% dari 29 titik), lamun (1 titik), pasir (1 titik), pasir dan lamun (75% dari 130 titik). Sebaran titik koordinat 8 kelompok substrat ini digunakan untuk mengekstrak nilai indeks dasar dari 3 zona geomorfologi. Nilai rata-rata indeks dasar setiap kelompok substrat kemudian dihitung dan menjadi acuan reklasifikasi. Tahapan ini diakhiri dengan penggabungan citra 3 zona dan menghasilkan peta substrat dasar 8 tema (Gambar 8).



Gambar 6. Peta Substrat Dasar 3 tema dari Metode Koreksi Kolom Air



Gambar 7. Peta Substrat Dasar 3 tema dari Metode Kombinasi



Gambar 8. Peta Substrat Dasar 8 Tema dari Metode

Tabel 2. Matriks Kesalahan Peta Substrat 3 Tema Metode K

		Lapangan				
		Tipe habitat	lamun	pasir	t.karang	Sbaris Error C
Citra	lamun		32	42	44	118 0.7288
	pasir		6	149	19	174 0.1437
	t. karang		5	0	28	33 0.1515
	Skolom		43	191	91	325
	Error O		0.256	0.22	0.6923	0.1785*

ErrorO = Errors of Omission, ErrorC = Errors of Commission *95% Confidence Interval = +/- 0.0437 (0.3132 - 0.4006) *99% Confidence Interval = +/- 0.0548 (0.3048 - 0.4090) Overall Kappa = 0.4138

Tabel 3. Matrik Kesalahan Peta Substrat 3 Tema Metode KAG

		Lapangan				
		Tipe habitat	lamun	pasir	t.karang	Sbaris Error C
Citra	dlamun		38	16	9	63 0.3968
	d pasir		4	165	18	187 0.1176
	d t. karang		1	10	64	75 0.1467
	Skolom		43	191	91	325
	Error O		0.116	0.14	0.2967	0.1785*

*95% Confidence Interval = +/- 0.0416 (0.1368 - 0.2201) *99% Confidence Interval = +/- 0.0548 (0.1237 - 0.2333) Overall Kappa = 0.6878

Perbandingan akurasi tematik peta

Uji akurasi peta substrat dasar 3 tema di Karang Lebar yang dihasilkan dari metode koreksi kolom air (KA) dan metode kombinasi (KAG) disajikan pada Tabel 2 dan 3. Nilai kesalahan total untuk metode KA mencapai 35,7% (akurasi 64.3%) dan untuk metode KAG mencapai 17,9% (akurasi 82.1%). Metode KAG memberikan nilai akurasi 17,8% lebih baik daripada metode KA. Akurasi tematik untuk kedua metode relatif tidak berbeda dengan yang diperoleh Lyons *et al.* (2011), yaitu dalam kisaran 57–95%. Bila komponen dari masing-masing sel penyusun matriks kesalahan ikut diperhitungkan, maka diperoleh nilai kappa untuk metode KA sebesar 41,4% dan metode KAG sebesar 68,8 % atau terjadi peningkatan sebesar 27,4%.

Tabel 4 memperlihatkan matrik kesalahan untuk peta substrat 8 tema yang dihasilkan dari metode kombinasi. Skenario ini ternyata menghasilkan kesalahan sebesar 52,3% atau setara dengan akurasi tematik sekitar 48%. Hasil-hasil ini memperlihatkan bahwa meskipun di lapangan secara visual surveyor dapat membedakan sejumlah besar tipe substrat (dalam hal ini 16), namun implementasinya ke citra masih terkendala dengan rendahnya kemampuan

kanal-kanal *Quickbird* untuk memisahkan karakter spektral objek. Citra satelit pada akhirnya akan lebih ditekankan untuk aspek perluasan wilayah studi agar dapat mengisi kekosongan data yang terabaikan oleh sampling insitu (Fearn *et al.*, 2011)

Peningkatan akurasi tematik kemungkinan dapat dilakukan dengan menggunakan citra yang memiliki resolusi spektral lebih beragam (misalkan *Worldview 2* dengan 8 kanal) atau menggunakan GPS (*Global Positioning System*) yang memiliki akurasi posisi lebih tinggi daripada resolusi citra. Penentuan posisi pada studi ini masih menggunakan dua GPS tipe navigasi. Alat tipe ini memiliki akurasi GPS sekitar 15 meter pada *root mean square* (RMS) 95% pengamatan. Penerapan metode garis basis (*baseline*) dapat meningkatkan akurasi hingga 3 meter (Garmin, 2006), namun masih lebih kasar daripada resolusi satelit yang digunakan (2,44 m). Mengacu pada Klaar dan Amhar (2001), pada resolusi spasial 2,44 meter maka citra *quickbird* idealnya dapat menghasilkan peta hingga skala 1:12.500. Akurasi minimal alat penentu posisi yang digunakan untuk skala tersebut seharusnya antara 0,6 - 1 meter. Bagaimanapun, kepastian geometrik unsur tematik yang dihasilkan citra *Quickbird* jauh lebih baik daripada *Landsat ETM*, *ALOS* maupun *SPOT HRV*.

Hal ini dapat difahami mengingat satu piksel citra multispektral *Quickbird* hanya mewakili nilai untuk luasan 5,95 meter persegi, jauh lebih detail daripada multispektral *Landsat ETM* yang satu pikselnya mewakili luasan 900 meter persegi, atau citra *ALOS* dengan luasan sekitar 225 meter persegi.

Kesimpulan

Pengelompokan tipe substrat berdasarkan kemiripan nilai piksel pada taraf 95% memperlihatkan hanya ada 3 tipe substrat dasar dominan di Gusung Karang Lebar yaitu, lamun dan terumbu karang (biotik) dan pasir (abiotik). Nilai akurasi peta substrat dasar 3 tema yang dihasilkan dari metode koreksi kolom air adalah sebesar 64.3% sementara yang dihasilkan dari metode kombinasi mencapai akurasi 82.1%. Nilai kappa untuk metode koreksi kolom air sebesar 41,4% dan metode kombinasi sebesar 68,8%. Metode kombinasi secara signifikan dapat meningkatkan akurasi tematik peta substrat dasar yang dihasilkan dari citra satelit *Quickbird* lebih dari 20%. Bila indeks kemiripan dinaikkan tarafnya menjadi 97% maka diperoleh 8 tipe substrat dominan. Peta substrat untuk 8 tema ini hanya menghasilkan akurasi sekitar 48% saja. Secara umum dapat dikatakan akurasi tematik peta substrat dari citra *Quickbird* menurun nilainya dengan semakin banyaknya

Tabel 4. Matrik Kesalahan Peta Substrat 8 Tema Metode KAG

Citra	tipe substrat	L a p a n g a n								S baris	Error C
		1	2	3	4	5	6	7	8		
	1	15	11	3	0	2	0	0	0	31	0.5161
	2	19	23	0	0	1	0	0	0	43	0.4651
	3	5	3	53	0	1	0	0	47	109	0.5138
	4	0	3	0	1	6	0	0	4	14	0.9286
	5	18	8	0	0	15	0	0	1	42	0.6429
	6	0	0	1	0	4	1	0	31	37	0.973
	7	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0.5
	8	0	0	1	0	0	0	0	46	47	0.0213
	S kolom	57	48	58	1	29	1	1	130	325	
	Error O	0.74	0.52	0.1	0	0.5	0	0	0.6		0.5231*

*95% Confidence Interval = +/- 0.0543 (0.4688 - 0.5774)

*99% Confidence Interval = +/- 0.0715 (0.4516 - 0.5946)

Overall Kappa = 0.3728

Keterangan tipe substrat: 1=terumbu karang hidup, 2=terumbu karang hidup dan terumbu karang mati, 3=pasir dan terumbu karang hidup, 4=lamun dan pasir, 5=lamun, terumbu karang hidup dan terumbu karang mati, 6=lamun, 7=pasir, 8=pasir dan lamun.

tema yang ditampilkan. Akurasi tematik kemungkinan dapat ditingkatkan dengan menggunakan alat penentu posisi yang lebih presisi.

Ucapan Terima Kasih

Citra Qucikbird yang digunakan dalam studi ini berasal dari Program Insentif Riset Dasar D-2008-359 yang diketuai oleh Dr. Vincentius P Siregar. Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan sejawat yang telah membantu pengambilan data lapangan, yaitu Samsul B. Agus, Anggi Afif Muzaki, Cory dan Dewi.

Daftar Pustaka

Andréfouëta, S., F.E. Muller-Karger, E.J. Hochberg, C. Hu & K.L. Carder. 2001. Change Detection in Shallow Coral Reef Environments using Landsat 7 ETM+ Data. *Remote Sensing of Environment*, 78: 150-162.

Andréfouëta, S., P. Kramer, D.T.-Pulliza, K.E. Joyce, E.J. Hochberg, R.G.-Pérezf, P.J. Mumby, B. Riegl, H. Yamano, W.H. White, M. Zubia, J.C. Brock, S.R. Phinn, A. Naseer, B.G. Hatcher, & F.E. Muller-Karger. 2003. Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments. *Remote Sensing of Environment*, 88: 128–143

Clarke, K.R. & R.N., Gorley. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth. Pp. 43-67

Congalton, R.G. & K. Green. 1999. Assessing The Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. CRC Press, Inc. Florida. 130 p.

Garmin. 2006. Gpsmap 76 Chartplotting Receiver Owner's Manual. Garmin Corporation, Taiwan. 86p

Green, E.P., P.J. Mumby, A.J. Edwards, & C.D. Clark. 2000. Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management; UNESCO: Paris, France. 316p.

Klaar, W. & F. Amhar. 2001. Konsep Proses Tata Ruang dan Teknologi Pemetaan Tata Ruang. Bakosurtanal, Cibinong. 96 hal.

Krause, K. 2003. Radiance Conversion of QuickBird Data : Technical Note. Digital Globe. 4p.

Hedley, J.D. & P.J. Mumby. 2003. A remote sensing method for resolving depth and subpixel composition of aquatic benthos. *Limnol. Oceanogr.*, 48(1, part 2): 480–488

Lyons, M., S. Phinn, & C. Roelfsema. 2011. Integrating Quickbird Multi-Spectral Satellite and Field Data: Mapping Bathymetry, Seagrass Cover, Seagrass Species and Change in Moreton Bay, Australia in 2004 and 2007. *Remote Sens.*, 3: 42-64

Lyzenga, D.R. 1978. Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features. *Applied Optics*. 17(3): 379-383

Lyzenga, D.R. 1981. Remote Sensing of Bottom

- Reflectance and Water Attenuation Parameters in Shallow Water Using Aircraft and Landsat Data. *Int. J. Remote Sensing*, 2(1):71-82
- Maeder, J., S. Narumalani, D.C. Rundquist, R.L. Perk, J. Schalles, K. Hutchins, & J. Keck. 2002. Classifying and Mapping General Coral-Reef Structure Using Ikonos Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(12): 1297-1305.
- Maritorena, S. 1996. Remote sensing of the water attenuation in coral reefs: a case study in French Polynesia. *Int. J. Remote Sensing*, 17(1): 155-166
- Mumby P.J & A. J. Edwards. 2002. Mapping marine environments with IKONOS imagery: enhanced spatial resolution can deliver greater thematic accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 82:248–257
- Mumby, P.J., C.D. Clark, E.P. Green, & A.J. Edwards. 1998. Benefits of water column correction and contextual editing for mapping coral reefs. *Int. J. Remote Sensing*, 19(1): 203 – 210.
- Phinn S., C. Roelfsema, A. Dekker, V. Brando & J. Anstee. 2008. Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia). *Remote Sensing of Environment*, 112: 3413–3425
- Purkis, S.J. 2005. A Reef Up Approach to Classifying Coral Habitat From IKONOS Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(6): 1375-1390
- Siregar, V., S. Wouthuyzen, S. Sukimin, S.B. Agus, M.B. Selamat, Adriani, Sriati, & A.A. Muzaki. 2010. Informasi Spasial Habitat Perairan Dangkal dan Pendugaan Stok Ikan Terumbu Menggunakan Citra Satelit. SEAMEO BIOTROP, Bogor. Hal: 5-8.
- Stehman, S.V. 1996. Estimating The Kappa Coefficient and Its Variance under Stratified Random
- Vahtmäe, E., T. Kutser, J. Kotta, & M. Pärnoja. 2011. Detecting patterns and changes in a complex benthic environment of the Baltic Sea. *J. App. Remote Sensing*, 5: 18