

PEMETAAN HABITAT BENTIK PERAIRAN DANGKAL: KOMPARASI DAN KOMBINASI TEKNOLOGI HIDROAKUSTIK DAN PENGINDERAAN JAUH OPTIK

BAIGO HAMUNA



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “**Pemetaan Habitat Bentik Perairan Dangkal: Komparasi dan Kombinasi Teknologi Hidroakustik dan Penginderaan Jauh Optik**” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Baigo Hamuna
C5602211003

RINGKASAN

BAIGO HAMUNA. Pemetaan Habitat Bentik Perairan Dangkal: Komparasi dan Kombinasi Teknologi Hidroakustik dan Penginderaan Jauh Optik. Dibimbing oleh SRI PUJIYATI, JONSON LUMBAN GAOL dan TOTOK HESTIRIANOTO.

Informasi spasial habitat bentik pada skala spasial yang tepat dan relevan merupakan prasyarat mendasar memahami dan mengelola ekosistem di perairan dangkal dan menjadi langkah penting untuk memantau kesehatan dan evolusinya. Namun, sering kali terhambat oleh kurangnya informasi spasial habitat bentik yang komprehensif. Perkembangan teknologi penginderaan jauh, baik hidroakustik maupun penginderaan jauh optik telah memudahkan dalam melakukan survei pemetaan habitat bentik. Pada berbagai survei hidroakustik, salah satu kelemahan sistem *single-beam echosounder* (SBES) adalah keterbatasan parameter-parameter akustik yang digunakan sebagai *input* dalam proses klasifikasi yang hanya terbatas pada echo pertama dan echo kedua. Di sisi lain, meskipun citra satelit memiliki banyak kelebihan, namun gelombang elektromagnetik dari sensor satelit memiliki keterbatasan penetrasi terhadap kolom air.

Tujuan penelitian antara lain: (1) menganalisis karakteristik hambur balik akustik beberapa tipe bentik yang mencakup parameter akustik di echo pertama hingga ketiga; (2) menentukan kombinasi parameter akustik dan algoritma *machine learning* agar menghasilkan peta habitat bentik yang akurat dari dataset SBES; (3) memetakan habitat bentik dari citra SPOT-6 dan Sentinel-2A menggunakan metode dan algoritma klasifikasi yang berbeda-beda; dan (4) menganalisis perbandingan tingkat akurasi dan kemiripan peta habitat bentik dari dataset SBES dengan citra satelit (SPOT-6 dan Sentinel-2A), serta mengkombinasikannya agar menghasilkan peta habitat bentik yang komprehensif. Penelitian ini dilakukan di Atol Kapota, Kabupaten Wakatobi. SBES Simrad EK15 digunakan untuk perekaman data hidroakustik secara stasioner dengan target delapan tipe bentik: pasir (PS1 dan PS2), pasir+lamun (PsL1 dan PsL2), *rubble* (RB), *Acropora tabulate* (ACT), *Acropora branching* (ACB), *Coral massive* (CM), *Coral foliose* (CF) dan *soft coral* (SC); serta perekaman sepanjang lintasan survei akustik. Pengolahan data hambur balik akustik menggunakan perangkat lunak Sonar5-Pro. Proses klasifikasi dataset SBES menggunakan enam algoritma klasifikasi. Adapun citra SPOT-6 dan Sentinel-2A diolah menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.8.1, dengan menerapkan dua metode klasifikasi (berbasis objek dan piksel) dan dua algoritma klasifikasi.

Hasil penelitian menemukan bahwa energi hambur balik akustik, seperti *bottom detection* (BD), *bottom peak* pertama (BP₁), AttackSv₁, DecaySv₁, AttDecSv₁, *bottom peak* kedua (BP₂), AttackSv₂, DecaySv₂, AttDecSv₂, *bottom peak* ketiga (BP₃), AttackSv₃, DecaySv₃, dan AttDecSv₃ dari beberapa tipe dasar laut berbeda signifikan, walaupun beberapa diantaranya tidak berbeda signifikan. Di ketiga echo dasar laut, ditemukan bahwa pasir (PS1 dan PS2) yang relatif datar memiliki energi BP dan AttackSv yang lebih tinggi dari tipe bentik lainnya, sedangkan karang CM memiliki energi DecaySv yang lebih tinggi. Pasir yang relatif datar membentuk kurva yang lebih tajam dan lebih sempit di fase *decay*, sedangkan karang keras (CM, ACB, ACT) dan SC membentuk kurva yang lebih lebar. Karang CM membentuk kurva fase *decay* yang lebar dekat puncak echo, sedangkan ACT dan ACB di bagian bawah (bagian akhir) fase *decay*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Kombinasi delapan parameter akustik (kedalaman/D, BD, BP₁, AttackSv₁, DecaySv₁, AttDecSv₁, AttDecSv₂ dan AttDecSv₃) sebagai parameter *input* klasifikasi menghasilkan peta habitat bentik (karang, lamun dan pasir) dengan akurasi maksimum 79,33% dengan menggunakan algoritma *Random Forest* (RF). Akurasi tersebut lebih tinggi secara signifikan dibandingkan kombinasi parameter akustik utama SBES dalam sistem RoxAnn (E1/DecSv₁ dan E2/AttDecSv₂). Penambahan dua atau lebih parameter akustik secara bersamaan dapat meningkatkan akurasi peta secara signifikan. Urutan kepentingan delapan parameter akustik dalam proses klasifikasi: AttDecSv₂>D>DecaySv₁>BD>AttDecSv₃>AttackSv₁>AttDecSv₁>BP₁.

Citra SPOT-6 dan Sentinel-2A menghasilkan memetakan sembilan kelas bentik, antara lain pasir, karang hidup, karang mati, *rubble*, lamun padat, campuran *rubble* dan pasir, campuran lamun sedang dan pasir, campuran pasir dan lamun jarang, serta campuran *rubble*, karang mati dan lamun jarang. Citra SPOT-6 menghasilkan peta habitat bentik dengan akurasi berkisar 66,67–75,23%, sedangkan citra Sentinel-2A berkisar 63,51–66,22%. Penerapan klasifikasi berbasis objek dapat meningkatkan akurasi peta habitat bentik hingga 2,71% (citra Sentinel-2A) dan 8,56% (SPOT-6) dibandingkan menggunakan klasifikasi berbasis piksel. Adapun algoritma *Support Vector Machine* menghasilkan peta habitat bentik dengan akurasi tinggi ketika diterapkan pada klasifikasi berbasis objek. Sebaliknya, algoritma RF lebih baik bila diterapkan pada klasifikasi berbasis piksel.

Dataset SBES dan citra satelit memiliki kelebihan dan kekurangan dalam memetakan habitat bentik. Jumlah kelas habitat bentik yang terpetakan dari citra satelit (SPOT-6 dan Sentinel-2A) lebih banyak dibandingkan dataset SBES di area yang sama. Begitupun akurasi peta habitat bentik dari citra satelit lebih tinggi dibandingkan dataset SBES pada jumlah kelas bentik yang sama (karang, lamun dan pasir), kecuali akurasi peta dari citra Sentinel-2A berbasis piksel. Namun, citra satelit hanya mampu memetakan habitat bentik dengan baik hingga kedalaman 15 m dan akurasi yang tinggi dibatasi pada kedalaman 10 m. Pada kedalaman >10, kelas karang dan pasir yang terpetakan oleh SBES dominan terpetakan sebagai kelas badan air ketika menggunakan citra satelit. Hal ini sangat dipengaruhi oleh kemampuan gelombang elektromagnetik dalam menembus kolom air. Berdasarkan kelebihan masing-masing sumber data, maka kombinasi peta habitat bentik dari citra SPOT-6 (hingga 10 m) dan SBES (>10 m) menghasilkan peta habitat bentik dengan akurasi yang sangat tinggi (90,67%) untuk tiga kelas bentik (karang, lamun dan pasir). Kombinasi dataset SBES dan citra SPOT-6 dapat memetakan habitat bentik yang lebih komprehensif dan resolusi yang tinggi (sepuluh kelas bentik).

Sebagai upaya untuk meningkatkan akurasi peta habitat bentik dari dataset SBES, penambahan parameter turunan data kedalaman (*slope* dan *rugosity*) juga perlu dipertimbangkan sebagai parameter input klasifikasi dengan menerapkan metode dan klasifikasi yang berbeda (penerapan algoritma deep learning). Terakhir, diperlukan lebih banyak penelitian terkait komparatif dataset hidroakustik (SBES, MBES atau side scan sonar) dan citra penginderaan jauh optik (multispektral atau hiperspektral) dengan menerapkan teknik dan metode klasifikasi yang lainnya.

Kata kunci: akurasi pemetaan, Atol Kapota, citra SPOT-6/Sentinel-2A, dataset SBES, hambur balik akustik.

SUMMARY

BAIGO HAMUNA. Mapping of Shallow Water Benthic Habitats: Comparison and Combination of Hydroacoustic Technology and Optical Remote Sensing. Supervised by SRI PUJIYATI, JONSON LUMBAN GAOL, and TOTOK HESTIRIANOTO.

Spatial information of benthic habitats at appropriate and relevant spatial scales is a fundamental prerequisite for understanding and managing shallow water ecosystems. It is an important step in monitoring their health and evolution. However, the lack of comprehensive spatial information on benthic habitats often hampered it. The development of remote sensing technology, both hydroacoustic and optical remote sensing, has made it easier to conduct benthic habitat mapping surveys. In various hydroacoustic surveys, one of the weaknesses of the single-beam echosounder (SBES) system is the limitation of acoustic parameters used as input in the classification process, which is limited to the first and second echoes. On the other hand, although satellite imagery has many advantages, electromagnetic waves from satellite sensors have limited penetration into the water column.

The objectives of the study include: (1) analyzing the acoustic backscatter characteristics of several types of benthic including acoustic parameters in the first to third echoes; (2) determining the combination of acoustic parameters and machine learning algorithms to produce accurate benthic habitat maps from the SBES dataset; (3) mapping benthic habitats from SPOT-6 and Sentinel-2A images using different classification methods and algorithms; and (4) analyzing the comparative level of accuracy and similarity of benthic habitat maps from SBES datasets with satellite images (SPOT-6 and Sentinel-2A), and combining them to produce a comprehensive benthic habitat map. This research was conducted in Kapota Atoll, Wakatobi Regency. SBES Simrad EK15 was used for stationary hydroacoustic data recording with eight benthic types as targets: sand (PS1 and PS2), sand+seagrass (PsL1 and PsL2), rubble (RB), *Acropora tabulate* (ACT), *Acropora branching* (ACB), *Coral massive* (CM), *Coral foliose* (CF) and soft coral (SC); and recording along the acoustic survey line. Acoustic backscatter data processing used Sonar5-Pro software—the SBES dataset classification process used six classification algorithms. The SPOT-6 and Sentinel-2A images were processed using ArcMap 10.8.1 software by applying two classification methods (object- and pixel-based) and two classification algorithms.

The results of the study found that acoustic backscatter energy, such as bottom detection (BD), first bottom peak (BP1), AttackSv1, DecaySv1, AttDecSv1, second bottom peak (BP2), AttackSv2, DecaySv2, AttDecSv2, third bottom peak (BP3), AttackSv3, DecaySv3, and AttDecSv3 from several types of seabeds were significantly different. However, some of them were not significantly different. In the three seabed echoes, it was found that relatively flat sand (PS1 and PS2) had higher BP and AttackSv energy than other benthic types, while CM coral had higher DecaySv energy. Relatively flat sand formed a sharper and narrower curve in the decay phase, while hard corals (CM, ACB, ACT) and SC formed wider curves. CM coral formed a wide decay phase curve near the echo peak, while ACT and ACB were at the bottom (end) of the decay phase.

The combination of eight acoustic parameters (depth/D, BD, BP1, AttackSv1, DecaySv1, AttDecSv1, AttDecSv2, and AttDecSv3) as classification input parameters produces a benthic habitat map (coral, seagrass, and sand) with a maximum accuracy of 79.33% using the Random Forest (RF) algorithm. This accuracy is significantly higher than the combination of the main SBES acoustic parameters in the RoxAnn system (E1/DecSv1 and E2/AttDecSv2). Adding two or more acoustic parameters simultaneously can significantly increase the accuracy of the map. The order of importance of the eight acoustic parameters in the classification process: AttDecSv2>D>DecaySv1>BD>AttDecSv3>AttackSv1>AttDecSv1>BP1. SPOT-6 and Sentinel-2A images produced nine benthic classes, including sand, live coral, dead coral, rubble, dense seagrass, a mixture of rubble and sand, a mixture of medium seagrass and sand, a mix of sand and sparse seagrass, and a mixture of rubble, dead coral, and sparse seagrass. SPOT-6 images produced benthic habitat maps with an accuracy ranging from 66.67% to 75.23%, while Sentinel-2A images ranged from 63.51% to 66.22%. Object-based classification can increase the accuracy of benthic habitat maps by up to 2.71% (Sentinel-2A images) and 8.56% (SPOT-6) compared to pixel-based classification. When applied to object-based classification, the Support Vector Machine algorithm produces benthic habitat maps with high accuracy. Conversely, the RF algorithm is better when applied to pixel-based classification.

SBES datasets and satellite imagery have advantages and disadvantages in mapping benthic habitats. The number of benthic habitat classes mapped from satellite imagery (SPOT-6 and Sentinel-2A) exceeds the SBES dataset in the same area. Likewise, the accuracy of benthic habitat maps from satellite imagery is higher than the SBES dataset for the same number of benthic classes (coral, seagrass, and sand), except for the accuracy of maps from pixel-based Sentinel-2A images. However, satellite imagery can only map benthic habitats up to a depth of 15 m, and high accuracy is limited to 10 m. At depths >10, the coral and sand classes mapped by SBES are predominantly mapped as water body classes when using satellite imagery. This is greatly influenced by the ability of electromagnetic waves to penetrate the water column. Based on the advantages of each data source, the combination of benthic habitat maps from SPOT-6 imagery (up to 10 m) and SBES (>10 m) produces benthic habitat maps with very high accuracy (90.67%) for three benthic classes (coral, seagrass, and sand). Combining the SBES dataset and SPOT-6 imagery can map more comprehensive benthic habitats and high-resolution (ten benthic classes).

To improve the accuracy of benthic habitat maps from SBES datasets, adding depth data-derived parameters (slope and rugosity) must also be considered as classification input parameters by applying different methods and classifications (application of deep learning algorithms). Finally, more research is needed on the comparative hydroacoustic datasets (SBES, MBES, or side scan sonar) and optical remote sensing imagery (multi- or hyper-spectral) by applying other classification techniques and methods.

Keywords: acoustic backscatter, Kapota Atoll, mapping accuracy, SBES dataset, SPOT-6/Sentinel-2A imagery.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PEMETAAN HABITAT BENTIK PERAIRAN DANGKAL: KOMPARASI DAN KOMBINASI TEKNOLOGI HIDROAKUSTIK DAN PENGINDERAAN JAUH OPTIK

BAIGO HAMUNA

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Teknologi Kelautan

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc.
- 2 Dr. Doddy Mendro Yuwono, S.Si., MT., M.Sc.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc.
- 2 Dr. Doddy Mendro Yuwono, S.Si., MT., M.Sc.

Judul Disertasi : Pemetakan Habitat Bentik Perairan Dangkal: Komparasi dan Kombinasi Teknologi Hidroakustik dan Penginderaan Jauh Optik

Nama : Baigo Hamuna
NIM : C5602211003

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Sri Pujiyati, M.Si.



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Jonson Lumban Gaol, M.Si.



Pembimbing 3:
Dr. Ir. Totok Hestirianoto, M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Sri Pujiyati, M.Si.
NIP. 19671021 199203 2 002



Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:
Prof. Dr. Ir. Fredinan Yulianda, M.Sc.
NIP. 19630731 198803 1 002



Tanggal Ujian: 03 Juni 2025

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga disertasi ini berhasil diselesaikan. Disertasi ini berjudul “Pemetakan Habitat Bentik Perairan Dangkal: Komparasi dan Kombinasi Teknologi Hidroakustik dan Penginderaan Jauh Optik”.

Penulis menyadari bahwa penelitian dan penulisan disertasi ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, izinkan penulis menyampaikan terimakasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung terselesaikannya penyusunan disertasi ini. Rasa hormat dan terimakasih yang setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Sri Pujiyati, M.Si. selaku ketua komisi pembimbing dan selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknologi Kelautan, Prof. Dr. Ir. Jonson Lumban Gaol, M.Si. dan Dr. Ir. Totok Hestirianoto, M.Sc. selaku anggota komisi pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, memotivasi dan mendorong penulis hingga dapat menyelesaikan penulisan disertasi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc. (Departemen Ilmu dan Teknolgi Kelautan, IPB) dan Dr. Doddy Mendro Yuwono, S.Si., MT., M.Sc. (Badan Informasi Geospasial) yang telah bersedia dan meluangkan waktu untuk berkenan sebagai Penguji Luar Komisi Pembimbing.
3. Dr. Novi Susetyo Adi, ST., M.Si. (Balai Besar Sosial Ekonomi, Kemeterian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia) yang telah bersedia dan meluangkan waktu untuk berkenan sebagai Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Kualifikasi.
4. Rektor, Dekan Sekolah Pascasarjana, dan Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti pendidikan program Doktor pada pada Program Studi Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB.
5. Balai Pembiayaan Pendidikan Tinggi (BPPT), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIRJEN DIKTI), Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan studi S-3 melalui Beasiswa Pendidikan Indonesia (Dosen Perguruan Tinggi Akademik) tahun 2021.
6. Pemerintah Daerah Kabupaten Wakatobi dan Balai Taman Nasional Wakatobi (BTNW) yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di Atol Kapota.
7. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah menyediakan dan memberikan izin penggunaan citra SPOT-6 untuk digunakan dalam penelitian disertasi penulis.
8. Dr. Ir. Apolo Safanpo, ST., MT. (selaku Rektor Universitas Cenderawasih periode 2017-2021) dan Dr. Oscar O. Wambrauw, SE., M.Sc.Agr. (selaku Rektor Universitas Cenderawasih periode 2022-sekarang) yang telah memberikan rekomendasi untuk pengajuan Beasiswa Pendidikan Indonesia dan perpanjangan tugas belajar.
9. Dr. Dirk Y.P. Runtuboi, M.Kes. (selaku Dekan FMIPA Universitas Cenderawasih periode 2018-2024) dan Dr. Jonathan Kiwasi Wororomi, S.Si., M.Si. (selaku Dekan FMIPA Universitas Cenderawasih periode 2024-sekarang) atas semua dukungan bagi penulis.

10. Seluruh staf pengajar Program Studi Teknolgi Kelautan yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama perkuliahan S-3.
11. Sri Ratih Deswati, S.Pi., M.Si. yang telah membantu dalam proses perekaman data hidroakustik dan Syahrul Purnawan, S.Pi., M.Si. (Universitas Syiah Kuala) yang telah membantu dalam mengkonversi data hidroakustik.
12. Laode Oba (alm.), Iyan dan Albar yang telah banyak membantu selama pengambilan data lapangan.
13. Rekan-rekan seperjuangan di TEK angkatan 2021: Ibu Nur Aini Uar, Pak Fajri Justitianto, Pak Muhammad Iqbal, Pak Denny Darlis dan Ibu A. Rini Sahni Putri atas bantuannya saat menempuh studi S-3 Teknologi Kelautan.

Ungkapan penuh cinta dan terima kasih yang tulus kepada teman hidupku, istriku tercinta Bdn. Delsi Almiani, S.Tr.Keb dan anak-anakku tersayang Airin Luthfiyah Hamuna dan Arini Nadhira Hamuna yang dengan sabar mendukung dan mendoakan penulis selama menempuh studi S-3. Terima kasih kepada kedua orang tua penulis, Ibunda Hj. Wa Nuru dan Ayahanda H. Hamuna atas segala limpahan kasih sayang dan doa yang diberikan kepada penulis hingga dapat menyelesaikan pendidikan S-3, juga kepada kedua mertua penulis Drs. H. Aludin, M.Si. dan Bd. Hasmi, STr.Keb. yang telah memberikan doa dan dukungan. Kakak-kakakku: Haliani (alm.), Mulyono, Dr. Alianto, S.Pi., M.Si., Kawarudin, Arifin, dan Hasmina Hamuna, S.Kep., Ns., serta seluruh keluarga atas segala doa dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah (disertasi) ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Baigo Hamuna

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR ISTILAH	xviii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Kerangka Pemikiran	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	8
1.6 Batasan Penelitian	8
1.7 <i>State of the Art</i>	8
1.8 Kebaruan (<i>Novelty</i>) Penelitian	9
II KUANTIFIKASI HAMBUR BALIK AKUSTIK DASAR LAUT MENGUNAKAN SINGLE-BEAM ECHOSOUNDER DAN SONAR5- PRO	12
2.1 Pendahuluan	12
2.2 Metode	13
2.3 Hasil	20
2.4 Pembahasan	30
2.5 Simpulan	32
III PEMETAAN HABITAT BENTIK DI PERAIRAN DANGKAL MENGUNAKAN SCIENTIFIC ECHOSOUNDER	33
3.1 Pendahuluan	33
3.2 Metode	35
3.3 Hasil	51
3.4 Pembahasan	65
3.5 Simpulan	69
IV PEMETAAN HABITAT BENTIK DI ATOL KAPOTA MENGGUNAKAN CITRA SATELIT MULTISPEKTRAL	70
4.1 Pendahuluan	70
4.2 Metode	72
4.3 Hasil	79
4.4 Pembahasan	92
4.5 Simpulan	98
V KOMPARASI DAN KOMBINASI PETA HABITAT BENTIK DARI DATASET SBES DAN CITRA SATELIT	100
5.1 Pendahuluan	100
5.2 Metode	102
5.3 Hasil	107
5.4 Pembahasan	121
5.5 Simpulan	125



VI PEMBAHASAN UMUM	127
6.1 Karakteristik hambur balik akustik	127
6.2 Evaluasi SBES dan citra satelit dalam memetakan habitat bentik	127
6.2.1 Dataset SBES	127
6.2.2 Citra Sentinel-2A dan SPOT-6	128
6.3 Komparasi dan kombinasi dataset SBES dan citra satelit	129
VII SIMPULAN UMUM DAN SARAN	132
7.1 Simpulan	132
7.2 Saran	133
DAFTAR PUSTAKA	134
LAMPIRAN	134
RIWAYAT HIDUP	166

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

1	<i>State of the Art</i> berbagai penelitian yang menggunakan dataset hidroakustik SBES dan citra penginderaan jauh optik	10
2	Alat yang digunakan dalam perekaman hidroakustik stasioner	14
3	Spesifikasi SBES Simrad EK15 dan pengaturan saat perekaman	15
4	Tipe dasar laut pada perekaman data hidroakustik secara stasioner	17
5	Nilai <i>Bottom Detection</i> (rata-rata \pm std.deviasi) dan <i>Bottom Peak</i> (rata-rata \pm std.deviasi) (decibel; dB)	23
6	Energi hambur balik akustik (rata-rata \pm std.deviasi) pada fase <i>Attack</i> dan <i>Decay</i> echo pertama (decibel; dB)	25
7	Energi hambur balik akustik (rata-rata \pm std.deviasi) pada fase <i>Attack</i> dan <i>Decay</i> echo kedua (decibel; dB)	26
8	Energi hambur balik akustik (rata-rata \pm std.deviasi) pada fase <i>Attack</i> dan <i>Decay</i> echo ketiga (decibel; dB)	26
9	Rangkuman hasil analisis tingkat kemiripan hambur balik akustik pada echo pertama (Tukey HSD; $\alpha = 0,05$)	28
10	Rangkuman hasil analisis tingkat kemiripan hambur balik akustik pada echo kedua (Tukey HSD; $\alpha = 0,05$)	29
11	Rangkuman hasil analisis tingkat kemiripan hambur balik akustik pada echo ketiga (Tukey HSD; $\alpha = 0,05$)	29
12	Kombinasi parameter-parameter akustik sebagai input dalam proses klasifikasi dan prediksi habitat bentik	41
13	<i>Confusion matrix</i> untuk uji akurasi peta habitat bentik	49
14	Deskripsi kelas-kelas habitat bentik	51
15	Akurasi (<i>OA</i> ; %) peta habitat bentik dari kombinasi parameter akustik echo pertama dan kedua menggunakan algoritma berbeda	54
16	Akurasi (<i>OA</i> ; %) peta habitat bentik dari kombinasi parameter akustik echo pertama sampai echo ketiga menggunakan algoritma berbeda	55
17	<i>Confusion matrix</i> pemetaan habitat bentik dari keenam algoritma klasifikasi (akurasi tertinggi setiap algoritma)	56
18	Uji signifikan (<i>Z-test</i>) perbandingan akurasi berbagai algoritma klasifikasi (akurasi tertinggi setiap kombinasi parameter akustik)	57
19	Prediksi parameter-parameter akustik tiga kelas habitat bentik dari data observasi (tidak berlabel) menggunakan algoritma RF-Bagging	58
20	Prediksi parameter-parameter akustik tiga kelas habitat bentik dari data observasi (tidak berlabel) menggunakan algoritma SVM	58
21	Uji signifikan (<i>Z-test</i>) perbandingan akurasi pada kombinasi delapan parameter akustik ($E_1E_2E_3-10$) dengan kombinasi sistem RoxAnn	62
22	Uji signifikan (<i>Z-test</i>) perbandingan akurasi peta dengan penambahan beberapa parameter akustik pada kombinasi parameter DecaySv ₁ -AttDecSv ₂ (E_1-E_2 sistem RoxAnn)	62
23	Uji signifikan (<i>Z-test</i>) perbandingan akurasi peta dengan penambahan parameter AttDecSv ₃ menggunakan algoritma RF-Bagging dan SVM	63
24	Karakteristik citra satelit Sentinel-2A dan SPOT-6	74

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

25	Akurasi (dalam %) penerapan skala segmentasi yang berbeda (klasifikasi berbasis objek) pada citra Sentinel-2A dan SPOT-6 dengan dua algoritma klasifikasi (SVM dan RF)	82
26	Perbandingan luasan spasial (dalam Ha) tiap kelas bentik dari citra Sentinel-2A dan SPOT-6 menggunakan klasifikasi berbasis objek	86
27	Perbandingan luasan spasial (dalam Ha) tiap kelas bentik dari citra Sentinel-2A dan SPOT-6 menggunakan klasifikasi berbasis piksel	89
28	Akurasi produser (<i>PA</i>) dan akurasi pengguna (<i>UA</i>) pemetaan habitat bentik dari citra satelit Sentinel-2A	90
29	Akurasi produser (<i>PA</i>) dan akurasi pengguna (<i>UA</i>) pemetaan habitat bentik dari citra satelit SPOT-6	90
30	Akurasi keseluruhan (<i>OA</i>) pemetaan habitat bentik dari citra Sentinel-2A dan SPOT-6	91
31	Uji signifikan (<i>Z-test</i>) perbandingan akurasi peta dari citra Sentinel-2A dan SPOT-6	91
32	Uji signifikan (<i>Z-test</i>) perbandingan akurasi peta antara citra Sentinel-2A dan SPOT-6 (metode dan algoritma yang sama)	92
33	Ringkasan akurasi <i>OA</i> pemetaan habitat bentik menggunakan berbagai citra satelit multispektral, metode dan algoritma klasifikasi	93
34	Skema penyederhanaan dari sembilan kelas menjadi tiga kelas bentik hasil klasifikasi citra satelit	106
35	<i>Confusion matrix</i> perbandingan akurasi pemetaan habitat bentik (tiga kelas bentik) dari dataset SBES dan citra Sentinel-2A	111
36	Uji signifikan (<i>Z-test</i>) perbandingan akurasi peta antara dataset SBES dan citra Sentinel-2A	112
37	<i>Confusion matrix</i> perbandingan akurasi pemetaan habitat bentik (tiga kelas bentik) dari dataset SBES dan citra SPOT-6	113
38	Uji signifikan (<i>Z-test</i>) perbandingan akurasi peta antara dataset SBES dan citra SPOT-6	114
39	Persentase (%) tingkat kemiripan distribusi spasial tiga kelas bentik utama antara SBES dan Sentinel-2A (berbasis objek)	115
40	Persentase (%) tingkat kemiripan distribusi spasial tiga kelas bentik utama antara SBES dan SPOT-6 (berbasis objek)	117
41	<i>Confusion matrix</i> pemetaan habitat bentik (tiga kelas bentik) dari kombinasi data SBES dan SPOT-6	120
42	Uji signifikan (<i>Z-test</i>) perbandingan akurasi peta antara SBES dan SPOT-6 dengan kombinasi SBES dan SPOT-6	120
43	Perkiraan luasan kelas karang berdasarkan kedalaman di area survei hidroakustik	121

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir kerangka pemikiran	7
2	<i>State of the Art</i> penggunaan parameter akustik SBES sebagai <i>input</i> dalam proses klasifikasi dana pemetaan (tahun 2000-2023)	9

3	Peta lokasi penelitian: (a) Indonesia, (b) Perairan Wakatobi, dan (c) Titik perekaman data akustik secara stasioner	14
4	Diagram alir tahapan kuantifikasi energi hambur balik akustik	15
5	Rangka paralon yang digunakan untuk perekaman data akustik	16
6	Kurva parameter-parameter akustik menggunakan perangkat lunak Sonar5-Pro (sumber: Balk dan Lindem 2015)	19
7	Echogram hambur balik akustik menggunakan perangkat lunak Sonar5-Pro dari hasil perekaman dari <i>scientific echosounder</i> Simrad EK-15	21
8	Kurva penjalaran gelombang akustik (<i>echo-envelope</i>) ke dasar laut; (a) dan (b) pasir, (c) dan (d) pasir+lamun, (e) ACT, (f) ACB, (g) CM, (h) CF, (i) RB, (j) SC	22
9	Peta lokasi penelitian: (a) Indonesia, (b) Atol Kapota di Taman Nasional Wakatobi, dan (c) area studi yang menunjukkan lintasan survei akustik dan titik <i>ground-truth</i>	36
10	Diagram alir tahapan pemetaan habitat bentik dari dataset SBES	37
11	Boxplot: variasi dan rata-rata (tanda plus) energi parameter akustik data <i>training</i> dari echo pertama dari karang, lamun dan pasir	52
12	Boxplot: variasi dan rata-rata (tanda plus) energi parameter akustik data <i>training</i> dari echo kedua dari karang, lamun dan pasir	53
13	Boxplot: variasi dan rata-rata (tanda plus) energi parameter akustik data <i>training</i> dari echo ketiga dari karang, lamun dan pasir	53
14	Peta distribusi spasial habitat bentik menggunakan algoritma RF-Bagging (kombinasi: E ₁ E ₂ E ₃ -10)	59
15	Peta distribusi spasial habitat bentik menggunakan algoritma SVM (kombinasi: E ₁ E ₂ E ₃ -10)	59
16	Peta 3-dimensi hasil klasifikasi habitat bentik menggunakan algoritma: (a) RF-Bagging dan (b) SVM	60
17	Peta habitat bentik: (a)-(b) kombinasi delapan parameter akustik; (c)-(d) kombinasi sistem RoxAnn; dan (e)-(f) tingkat kemiripan antara kombinasi delapan parameter akustik dengan sistem RoxAnn. RF-Bagging (kiri) dan SVM (kanan)	61
18	Parameter akustik yang penting menggunakan algoritma RF-Bagging pada kombinasi E ₁ E ₂ E ₃ -10; (a) klasifikasi keseluruhan dan (b) klasifikasi untuk setiap kelas bentik	64
19	Peta lokasi penelitian; (a) Indonesia, (b) Kepulauan Wakatobi, dan (c) titik pengambilan data lapangan di Atol Kapota	72
20	Diagram alir tahapan pemetaan habitat bentik dari citra satelit	73
21	Citra satelit yang digunakan; (a) SPOT-6 dan (b) Sentinel-2A	74
22	Kelas habitat bentik yang ditemukan di Atol Kapota	80
23	Segmentasi citra SPOT-6 dengan skala <i>spatial detail</i> yang berbeda (a) dan (d) 1, (b) dan (e) 5, (c) dan (f) 10; skala <i>minimum segment size</i> = 1 (atas) dan 5 (bawah)	81
24	Segmentasi citra SPOT-6 dengan skala <i>minimum segment size</i> yang berbeda (<i>spatial detail</i> = 1); (a) citra tanpa segmentasi, (b) 1, (c) 2, (d) 3, (e) 4 dan (f) 5	81
25	Distribusi spasial habitat bentik di Atol Kapota dari citra Sentinel-2A menggunakan klasifikasi berbasis objek dengan skala <i>spectral detail</i> 1, <i>spatial detail</i> 1 dan <i>minimum segment size</i> 1	84

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

26	Distribusi spasial habitat bentik di Atol Kapota dari citra SPOT-6 menggunakan klasifikasi berbasis objek dengan skala <i>spectral detail</i> 1, <i>spatial detail</i> 1, <i>minimum segment size</i> 1 (algoritma SVM) dan <i>minimum segment size</i> 2 (algoritma RF); lingkaran hitam menunjukkan area yang tidak terpetakan karena tutupan awan tebal	85
27	Distribusi spasial habitat bentik di Atol Kapota dari citra Sentinel-2A menggunakan klasifikasi berbasis piksel	87
28	Distribusi spasial habitat bentik di Atol Kapota dari citra SPOT-6 menggunakan klasifikasi berbasis piksel; lingkaran hitam menunjukkan area yang tidak terpetakan karena tutupan awan tebal	88
29	Peta lokasi penelitian: (a) Atol Kapota, Wakatobi dan (b) area survei hidroakustik	102
30	Diagram alir tahapan komparasi dan kombinasi peta habitat bentik	105
31	Distribusi tiga kelas bentik menggunakan algoritma RF-Bagging (kiri) dan algoritma SVM (kanan) dari data SBES	108
32	Distribusi spasial sembilan (kiri) dan tiga (kanan) kelas bentik dari citra Sentinel-2A di area survei akustik	109
33	Distribusi spasial sembilan (kiri) dan tiga (kanan) kelas bentik dari citra SPOT-6 di area survei akustik	110
34	Peta kemiripan distribusi spasial habitat bentik dari dataset SBES dan citra Sentinel-2A	115
35	Peta kemiripan distribusi spasial habitat bentik dari dataset SBES dan citra SPOT-6	116
36	(a)–(b) posisi garis <i>cross-section</i> , (c) profil vertikal habitat bentik dari data SBES (algoritma RF), dan (d) profil vertikal habitat bentik dari citra SPOT-6 (kombinasi OB-SVM)	118
37	Distribusi spasial tiga kelas habitat bentik dari kombinasi <i>output</i> dataset SBES dan citra SPOT-6	119
38	Distribusi spasial sepuluh kelas habitat bentik dari kombinasi <i>output</i> dataset SBES dan citra SPOT-6	120

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Ringkasan hasil analisis ANOVA (Tukey HSD) data akustik stasioner	150
2	Lampiran 2 Grafik pasang surut perairan Wakatobi	153
3	Lampiran 3 Hasil analisis ANOVA (Tukey HSD) data <i>training</i> untuk klasifikasi	154
4	Lampiran 4 <i>Confusion matrix</i> pemetaan habitat bentik dari berbagai kombinasi parameter akustik dataset SBES	155
5	Lampiran 5 <i>Confusion matrix</i> pemetaan habitat bentik dari citra satelit SPOT-6 dan Sentinel-2A (akurasi tertinggi kombinasi metode dan algoritma)	161
6	Lampiran 6 Persentase tingkat kemiripan peta-peta habitat bentik dari metode algoritma yang berbeda (dalam %)	163
7	Lampiran 7 Contoh peta hasil klasifikasi dari berbagai kombinasi parameter akustik menggunakan algoritma RF-Bagging	164

DAFTAR ISTILAH

Algoritma	: Serangkaian langkah atau metode yang direncanakan secara berurutan untuk menyelesaikan suatu masalah atau untuk mencapai tujuan tertentu
AttackSv	: Energi akustik pada fase <i>attack</i> (serangan) yang dimulai saat gelombang akustik pertama kali mengenai dasar laut dan berlangsung hingga durasi satu gelombang akustik, yang dapat terjadi pada echo pertama (AttackSv ₁), kedua (AttackSv ₂) dan ketiga (AttackSv ₃)
AttDecSv	: Energi akustik kumulatif dari fase <i>attack</i> dan fase <i>decay</i> , baik pada echo pertama (DecaySv ₁), kedua (DecaySv ₂) dan ketiga (DecaySv ₃)
Bottom Detection (BD)	: Energi akustik pada saat gelombang akustik mengenai permukaan dasar laut
Bottom Peak (BP)	: Energi hambur balik akustik tertinggi dalam satu echo dasar laut, baik pada echo pertama (BP ₁), echo kedua (BP ₂) dan echo ketiga (BP ₃)
Citra satelit	: Gambaran atau kenampakan permukaan bumi yang diambil dari satelit luar angkasa
Confusion matrix	: Tabel yang merinci jumlah contoh kebenaran dasar kelas tertentu terhadap jumlah contoh kelas yang diprediksi
Data training	: Data yang digunakan untuk membangun model prediksi
DecaySv	: Energi akustik pada fase <i>decay</i> (peluruhan) yang dimulai setelah fase <i>attack</i> hingga durasi tiga gelombang akustik, yang dapat terjadi pada echo pertama (DecaySv ₁), kedua (DecaySv ₂) dan ketiga (DecaySv ₃)
Echo pertama (E1)	: Echo hamburanbalik langsung dari dasar laut diterima oleh transduser.
Echo kedua (E2)	: Echo yang berasal dari hamburanbalik dasar laut yang mengenai permukaan air dan dipantulkan oleh permukaan air menuju ke dasar laut, kemudian dihamburanbalikkan kembali oleh dasar laut (dua kali dihamburanbalikkan oleh dasar laut dan satu kali oleh permukaan air)
Echo ketiga (E3)	: Echo yang dihamburanbalikkan oleh dasar laut sebanyak tiga kali dan oleh permukaan air sebanyak dua kali
Echo-envelope	: Kurva yang menunjukkan proses perambatan (propagasi) gelombang akustik untuk mengetahui tingkat intensitas energi akustik
E1 sistem RoxAnn	: Indeks kekasaran permukaan dasar laut secara akustik yang dinilai pada energi fase peluruhan (<i>decay</i>) echo pertama
E2 sistem RoxAnn	: Indeks kekerasan permukaan dasar laut secara akustik yang dinilai pada energi kumulatif echo kedua
Habitat bentik	: Tempat hidup di dasar perairan (laut, sungai atau danau) yang terdiri dari substrat dasar, seperti karang, vegetasi air, pasir, lumpur, bebatuan dan sebagainya

Hambur balik akustik	: Kemampuan suatu permukaan (dasar laut) untuk memantulkan kembali energi suara yang mengenainya
Hidroakustik	: Ilmu atau teknologi yang menggunakan gelombang suara (akustik) untuk mendeteksi objek di bawah permukaan air (kolom air atau di dasar perairan)
Kappa Coefficient	: Ukuran statistik yang digunakan untuk mengukur tingkat kesepakatan atau kesesuaian antara dua atau lebih penilai dalam pengklasifikasian, biasanya digunakan dalam konteks keandalan antar-penilai
Klasifikasi	: Proses pengelompokan sesuatu berdasarkan ciri-ciri atau standar tertentu yang telah ditetapkan
Klasifikasi supervised	: Metode klasifikasi yang menggunakan data pelatihan yang sudah diketahui kelasnya (data berlabel) untuk memprediksi kelas data baru (data observasi)
Klasifikasi unsupervised	: Metode klasifikasi yang secara otomatis mengelompokkan data-data kedalam kelas-kelas tertentu (jumlah kelas telah ditentukan) tanpa menggunakan data pelatihan yang berlabel (biasanya menggunakan algoritma klasterisasi)
Overall Accuracy (OA)	: Persentase jumlah data yang dikelaskan secara benar dibagi dengan jumlah total data yang digunakan dalam proses klasifikasi
Penginderaan jauh optik/satelit	: Ilmu atau teknologi terkait pengumpulan informasi (objek, area atau fenomena) di permukaan bumi dengan menggunakan sensor yang mendeteksi radiasi elektromagnetik yang dipantulkan oleh objek tersebut
Peta	: Gambaran permukaan bumi, atau bagiannya, pada bidang datar yang diperkecil dengan skala tertentu
Pemetaan	: Proses menciptakan representasi visual (biasanya dalam bentuk peta) dari suatu area atau wilayah tertentu
Producer Accuracy (PA)	: Probabilitas bahwa suatu fitur di lapangan diklasifikasikan dengan benar
Single-beam echosounder (SBES)	: Alat pengukur kedalaman air dan hambur balik akustik yang menggunakan pancaran (beam) tunggal
Uji akurasi	: Penilaian akurasi peta yang dihasilkan yang mengacu pada data lapangan
User Accuracy (UA)	: Probabilitas bahwa suatu kelas yang telah diklasifikasikan ke dalam kelas tertentu secara tepat mewakili kelas tersebut di lapangan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.