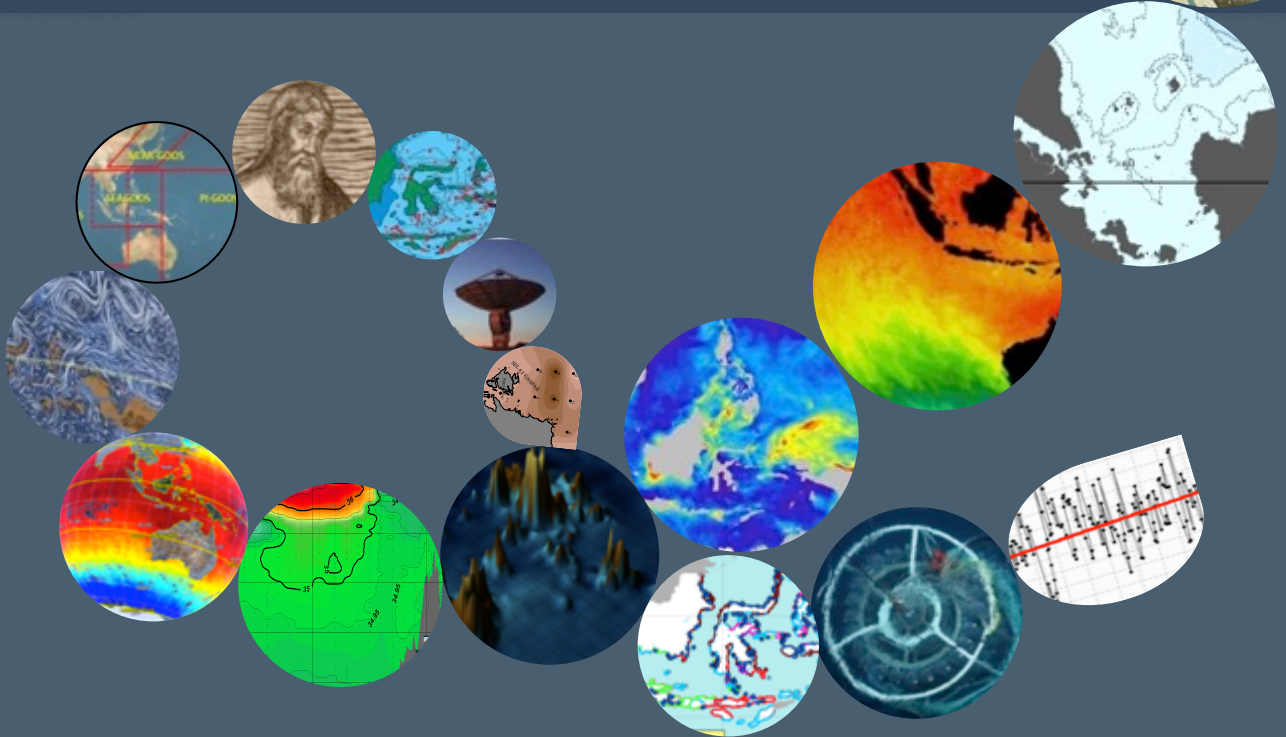
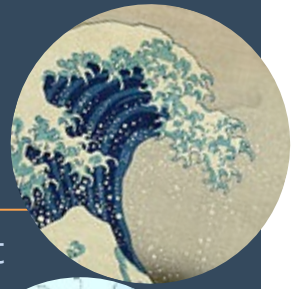


DINAMIKA OSEANOGRAFI

Deskripsi Karakteristik Massa Air dan Sirkulasi Air Laut



NOIR P. PURBA

Departemen Ilmu Kelautan
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Padjadjaran, Bandung

WIDODO S. PRANOWO

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pesisir
Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan
Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta



Sebagian photo depan oleh NASA 2007, SOS NASA, dan berasal dari gambar dari dalam isi buku ini yang sudah disitasi dalam daftar pustaka.

Diterbitkan oleh:

Unpad Press
Gedung Rektorat Lantai IV
Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung - Sumedang Km 21 Jatinangor
Telp (022) 84288812 Fax (022) 84288896

**NOIR PRIMADONA PURBA (NPP)
WIDODO SETIYO PRANOWO (WSP)**

Dicetak di Indonesia, Edisi I @2015

ISBN:



Didukung oleh:

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran
Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan
KOMITMEN Research Group
UNPAD Press



Cara mereferensi buku ini:

Purba, N.P., dan W.S. Pranowo. 2015. Dinamika Oseanografi, Deskripsi Karakteristik Massa Air dan Sirkulasi Laut. ISBN: 978-602-0810-20-1

SEBUAH PENGANTAR

DINAMIKA OSEANOGRAFI
Deskripsi Karakteristik Massa Air dan Sirkulasi Laut
EDISI PERTAMA

NOIR PRIMADONA PURBA
Universitas Padjadjaran, Bandung



WIDODO SETIYO PRANOWO
Badan Litbang-KP, Jakarta



Edisi Pertama@2015

PENGANTAR

Oseanografi atau ilmu kelautan merupakan bidang ilmu yang mempelajari tentang sifat, fenomena, penggambaran terhadap laut/samudra, serta bentangan irisannya. Ilmu ini merupakan keilmuan yang relatif muda terutama di Indonesia. Namun, perkembangan penelitian oseanografi di Indonesia dari tahun ke tahun baik dalam lembaga maupun universitas merupakan suatu hal yang patut diapresiasi. Hal ini menunjukkan bahwa keilmuan kelautan merupakan bidang ilmu yang penting mengingat Indonesia merupakan negara yang $\frac{3}{4}$ bagiannya adalah laut. Dalam lingkup ini, permintaan akan literatur juga mengalami peningkatan terutama di kalangan mahasiswa baik berupa jurnal, makalah, dan buku.

Untuk itu, buku ini hadir untuk melengkapi bagian-bagian dari keilmuan kelautan yang sangat luas yang sebagian besar merupakan hasil review, diskusi, dan penelitian yang telah dilakukan selama beberapa tahun terakhir. Penting untuk diketahui bahwa didalam penamaannya (oseanografi dan ilmu kelautan) dianggap sama, yang merujuk pada deskripsi/penggambaran tentang laut. Oseanografi berasal dari bahasa Yunani (*o $\acute{\kappa}$ eanós* yang berarti lautan/samudra dan *gráfo* yang berarti menulis) atau biasa disebut juga kelautan atau ilmu maritim, adalah cabang dari ilmu bumi yang mempelajari tentang lautan, oseanografi mencakup beberapa topik antara lain organisme yang ada di laut, dinamika ekosistem, arus laut, gelombang/ombak, dinamika fluida geofisika, lempeng tektonik, dan geologi dasar laut. Beragam topik ini dalam buku ini mencerminkan berbagai disiplin ilmu untuk pengetahuan lebih lanjut dari kelautan dunia dan pemahaman proses di dalamnya: seperti biologi, kimia, geologi, meteorologi, dan struktur fisik yang juga dikenal sebagai geologi laut.

Buku ini disusun untuk pembelajaran mata kuliah tingkat dasar pada bidang pengantar ilmu kelautan dan dikhususkan oseanografi fisis. Walaupun masih bersifat deskriptif-analisis, diharapkan dengan adanya aplikasi penelitian dan kajian literatur dapat menambah perbendaharaan pembaca terhadap kajian

laut terutama Indonesia. Bagian-bagian dalam buku ini disusun secara sistematis dan mendapat tambahan dari literatur yang dituangkan dalam daftar pustaka. Secara singkat materi yang ada pada bab buku adalah:

1. Bagian I Gambaran sejarah oseanografi; menyangkut bagaimana sejarah perjalanan kelautan oleh pelaut zaman dahulu yang kemudian bagaimana perkembangan keilmuan dari masa ke masa,
2. Bagian II Karakteristik fisika-kimia laut; mendeskripsikan kondisi kolom air dilihat dari parameter dasar seperti suhu, salinitas, tekanan, densitas, cahaya dan bunyi, kecerahan dan kekeruhan, dan tracer lainnya.
3. Bagian III Arus laut; mempelajari bagaimana gaya pembangkit arus, mekanisme pembentukan, jenis-jenis arus, dan pola pergerakan arus,
4. Bagian IV Gelombang, mempelajari tentang karakteristik gelombang, mekanisme gelombang, dan studi kasus kegunaan gelombang untuk kerentanan pantai,
5. Bagian V Pasang-surut, mendeskripsikan tentang gaya yang mempengaruhi pasang surut, mekanisme, serta sistem amphidromik,
6. Bagian VI Data dan Instrumentasi Kelautan, mempelajari tentang berbagai data kelautan dan pengukurannya, pengelolaan data dan teknik pengukuran, dan
7. Bagian VII Operasional Oseanografi untuk Kelautan dan Perikanan; meliputi sistem data dan perjalanan pelayaran di Indonesia.

Materi dalam buku ini berasal dari penelitian-penelitian yang telah dilaporkan dalam bentuk laporan penelitian, presentasi, materi kuliah yang kemudian dikembangkan analisisnya sehingga akan menjadi materi yang runut dan berbeda dengan buku lainnya. Selain itu, penggunaan berbagai jurnal dan literatur dimasukkan sebagai bahan perbendaharaan bagi pembaca.

Buku ini merupakan edisi yang pertama yang diterbitkan, dan dengan segala kemampuan, kesempurnaan buku ini dapat dicapai dengan banyak berdiskusi dan memberikan saran yang membangun dari para pembaca. Diskusi dan saran membangun dapat dikirimkan ke noaa.phd@unpad.ac.id atau widodo.pranowo@gmail.com.

Akhir kata, semoga buku ini dapat membantu dalam pengembangan mata kuliah Oseanografi Fisis dan pendukung mata kuliah lainnya serta berguna bagi pembaca awam yang sering berinteraksi dengan wilayah laut.

*Jayalah lautku,
Engkau adalah misteri di otak kananku
Lebih dalam terselami di kolom air hingga menemukan bentuknya
Kuarungi bersama hidupku, selamanya*

*Jayalah lautku,
Seperti matahari yang kontinu memberi panas setiap hari
Meredamnya pada senja, memberi keseimbangan pada tiap makhluk hidup
Memberi kehidupan pada seluruh samudra
Mengelilingi kepulauan dan menjadikannya bermakna*

*Dan,
Seperti kapal yang membelah samudra biru
bergoyang-goyang diterpa permainan angin dan gelombang
KekuatanMu diatas pengetahuan kami*

Jayalah,

Terima kasih
Penulis
Jatinangor, Maret 2015
Yales Veva, Jaya Mahe

UCAPAN TERIMA KASIH

Buku ini merupakan kolaborasi antara dua peneliti dari dua institusi (Universitas Padjadjaran dan Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan) yang bergerak dalam riset-riset kelautan yang disusun berdasarkan hasil perjalanan riset, tinjauan teoritis, pelatihan, dan diskusi dengan berbagai pihak. Sungguh sebagai pencapaian besar bahwa kami dapat menyelesaikan buku ini dengan bantuan dari banyak pihak secara personal maupun instansi. Kami mohon maaf apabila ada kekurangan dalam penulisan sitasi atau sumber yang tidak kami sengaja.

Untuk itu, Penulis 1 mengucapkan terima kasih kepada Perjalanan pelayaran riset yang dilakukan dengan kapal riset Ilmu Kelautan Universitas Riau RV. Senangin (UR) yang telah membantu dalam pengalaman perjalanan laut, pengukuran bathimetri, dan metode pengambilan sampel di perairan Selat Malaka dan Selat Rupa pada tahun 2002-2004. Project Senoro LNG dan Kelistrikan Pulau Seribu dengan rekan-rekan ITB pada tahun 2007 dan 2008 pada pengambilan data arus, gelombang, pasut, dan angin. Kerjasama DIKTI-LIPI dengan kegiatan Pelayaran Kebangsaan Ilmuwan Muda (PKIM) pada tahun 2010 di Bangka dan Belitung, beserta kru dan rekan-rekan peneliti se-Indonesia. Kru RV. Marion Dufresne pada perjalanan riset INDOMIX-Indonesia Tidal and Mixing Stratification (Indonesia-France) dan teman-teman kru dan tim dalam rangka penelitian ARLINDO di Halmahera-Surabaya pada tahun 2010. DIKTI-UNPAD melalui hibah Penelitian Hibah Bersaing (PHB) tahun 2011 dan Hibah Kompetitif tahun 2012, dengan tema "Tenggelamnya Pulau-Pulau Kecil" dan "Energi Laut". Kru KOMITMEN (Kelompok Studi Instrumen dan Survei Kelautan) Universitas Padjadjaran untuk Project BIEXRE I dan II (Biawak Island Exploration and Research) dan West-East Energy Project (WE2P) pada tahun 2012, dan T-RAX 2013. Training IRD-IPEV-LEGOS-LOCEAN-IPB pada tahun 2013. T-RAX Training and Research mahasiswa, dosen, dan peneliti di Biawak, Gosong, dan Cendekia pada tahun 2014-2015. MYSEA project di kepulauan Biawak, Indramayu 2014. Ucapan terima kasih yang tinggi juga saya

ucapkan kepada pimpinan dan rekan-rekan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran, atas diskusi, saran, dan praktikum oseanografi fisika yang memberikan tantangan terhadap buku ini dan data yang telah diambil dalam penelitian terintegrasi sejak tahun 2009. Kepada para mahasiswa yang memberikan masukan, ide, pengolahan data, dan sumbangsih moral dalam pemuatan isi dalam buku ini. Buku ini juga telah mendapat hibah bantuan dari DIKTI untuk revisi dan pendampingan pada tahun 2014.

Secara personal Penulis mengucapkan terima kasih kepada Naomi Hutaaruk yang telah memberikan dukungan dan doa selama penulisan buku ini. Tak lupa kepada orang tua yang telah memberikan doa dan nasehat selama ini dan keluarga Purba di Bandung. Buku ini juga disusun berdasarkan bantuan diskusi dan percakapan dengan berbagai pihak, Stewart Pardamean Siagian, S.Kel dan Finri Damanik, S.Kel, Dr. Agoes Atmadipoera dan Adriani Sunuddin, Dr. Josep Luis Pelegri Llopert (ICM-CSIS, Spain), Dr. Arianne Koch Laroy (Prancis), Dr. Craig Stevens (Auckland University), Prof. Madju Siagian (Guru besar UR), Prof. Safwan Hadi, Ph.D, Prof. Dr. Bachrulhajat Koswara, Prof. Dr. Dulmiad Iriana, Dr. rer.nat Armi Susandi, Musrifin Ghalib, M.Sc, Dr. Noor Cahyo (PPPGL), Riani Widiarti, M.Si (UI), Syawaludin A. Harahap, M.Sc dan Donny Juliandri, M.Sc, Alexander M.A. Khan, P.hD (teman seruangan) serta mentor kelautan yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Kemudian, Penulis kedua Buku ini mengucapkan terima kasih yang paling tinggi kepada Allah SWT yang telah menyatukan universe untuk mendukung penulisan buku ini. Kepada para guru, eyang guru, dan saya anggap sebagai guru saya, baik semenjak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi, bahkan para mentor di bidang Kelautan, Oseanografi, Matematika, dan Geofisika semenjak saya memulai karir sebagai peneliti seperti: Prof. Dr. Joern Behrens, Prof. Dr. Wolfgang Hiller, Prof. Torsten Schlurmann, Prof. Dr. Agus Supangat, Prof. Dr. Nining Sari ningsih, Prof. Dr. Delianis Pringgenies, Prof. Dr. Lachmuddin Sya'rani, Prof. Dr. Indroyono Soesilo, Prof. Dr. Hamzah Latief, Prof. Prof. Safwan Hadi, Ph.D, Prof. Dr. Widyo Nugroho Sulasdi, Prof. Dr.

Sugiarta Wirasantosa, Dr. Thomas Zschocke, Dr. Hartanata Tarigan, Dr. Irsan S. Brodjonegoro, Dr. Widjo Kongko, , Dr. Budi Sulistiyo, Dr. Safri Burhanuddin, Dr. Achmad Poernomo, Dr. Gellwynn Jusuf, Prof. Dr. Weidong Yu, Prof. Dr. Tim Rixen, Prof. Reiner Schlitzer, Prof. Dr. Arnold Gordon, Prof. Dr. Susan E. Wijffels, Prof. Dr. Janet Sprintall, Prof. Dr. Hendrik Van Aken, Prof. Dr. Indra Jaya, Dr. Helen E. Phillips, Dr. John Eric Jones, Dr. Karen Wild-Allen, Dr. Bernhard Mayer, dan yang lain yang mohon maaf tidak dapat saya sebutkan satu per satu lagi, saya mengucapkan beribu-ribu terima kasih atas tempaannya selama ini.

Spesial penghargaan saya haturkan kepada keluarga besar Pusat Litbang Sumberdaya Laut dan Pesisir tempat saya berbagi kehidupan, juga untuk keluarga besar Tsunami Modeling Group at Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research 2007-2013 (Prof. Dr. Joern Behrens, Prof. Dr. Jens Schroeter, Dr. Natalja Rakowsky, Dr. Sven Harig, Dr. Claudia Wekerle, Dr. Annika Fuchs, Dr. Alexey Androsov, Dr. Oliver Kunst, Dipl.-Ing. Antonia Immers, Dipl.-Ing. Florian Klaschka, Dipl.-Ing. Lars Mentrup, Dipl.-Ing. Sven Steinmann, Dr. Eifu Taguchi, Dr. Staphan Braune, Dr. Haiyang Chui) tempat yang menjadikan saya masuk di pohon silsilah matematikawan dunia.

Buku ini saya persembahkan kepada keluarga saya tercinta (Tri Handanari, M.Sc., Meino Rafif Pranowo, dan Olivia Raihana Pranowo), keluarga kandung tercinta (Ayahanda: Ir. Alrianto Notopurnomo, MM.; My mom: Sukardarmi; Adek-adek: Vembria Rose Handayani, M.Si., Wijaya Kukuh Prabowo, ST., dan Rizky Rosiana Herdiaty, ST.), dan keluarga istri saya di Jogja (Bapak Soegondo, Keluarga Mas Gatot Suhandono, dan Keluarga Mas Totok).

Semoga buku ini bermanfaat bagi para mahasiswa yang mempunyai bidang kajian oseanografi dan irisannya, sekolah tinggi kelautan dan bidang kelautan, perguruan tinggi, para pengajar muda, pemerhati bidang kelautan, dan pihak-pihak lain yang terkait.

NOIR PRIMADONA PURBA
Bandung

WIDODO SETIYO PRANOWO
Jakarta

KONTRIBUTOR

- ANASTASIA RITA TISIANA DWI **KUSWARDANI** : Koordinator Pembangunan dan Pengembangan *Indonesia Ocean Forecasting System (INAOFS)*
- JAYA **KELVIN** : Untuk beberapa gambar yang telah divisualisasikan, pengambilan data di lapangan, diskusi, proyek bersama, dan pembuatan beberapa makalah dalam jurnal internasional
- ANNISA **AULIA** : Penelitian Eddies di selatan Jawa yang digunakan sebagai masukan dalam konsep fenomena di selatan Jawa
- DESY **TELIANDI** : Penelitian delta T di selatan Jawa, bersama dengan penulis telah menghasilkan kajian yang komprehensif
- ARMYANDA **TUSSADIAH** : Pengolahan gambar arus di perairan Indonesia
- RIZKY MAHRIZA **UTAMY** : Pengolahan data SEC di Samudra Hindia bagian timur dan review singkat terhadap buku ini
- SYAHRIR **GIBRAN** : Beberapa gambar yang telah divisualisasi
- ADLI **ATTAMIMI** : Review singkat terhadap tata tulis dan ejaan
- ANDREAS BASTIAN **LANA** : Untuk pembuatan glossarium
- MUALLIMAH **ANNISA** : Administrator INAOFS
- WIDA HANAYASASHI **SAMYONO** DAN JOKO **SUBANDRIYO** : Administrator Laboratorium Data laut dan Pesisir
- DANI **SAEPULLOH**: Super administrator website <http://www.p3sdlp.litbang.kkp.go.id>
- PETER **MANGINDAAN** : Administrator Redaksi Jurnal Segara
- TRİYONO : Kepala Sub Bidang Kerjasama dan Pelayanan jasa pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir
- AGUS **HERMAWAN** : Kepala Sub Bidang Dokumentasi dan Perpustakaan pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir
- BERNI **SUBKI** : Koordinator Pembangunan dan Pengembangan *Indonesia Infrastructure Development for Space Oceanography (INDESO)*.

SAMBUTAN

Prof. Dr. Ir. Dulmiad Iriana

Guru Besar Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Padjadjaran
Maret, 2015

Indonesia memiliki sekitar 14.664 pulau dan diapit oleh 2 samudra dan 2 benua mempunyai tantangan tersendiri dalam pengelolaan lautnya. Deskripsi secara komprehensif dan kontinu sampai saat ini masih terus berkembang dan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam pengelolaan negara yang berbasis maritim. Tantangan pada saat ini akan lebih kompleks dikarenakan teknologi yang sudah ada akan memberikan “warna” tersendiri pada pengukuran dengan tingkat presisi tinggi sehingga pemahaman tentang kelautan semakin baik. Eksplorasi, instrumentasi, penginderaan jarak jauh, dan modelling merupakan kajian-kajian yang intens dilakukan di Indonesia dan peneliti dunia.

Pembelajaran tentang dinamika ini sudah berkembang dengan pesat di Indonesia. Sejarah mencatat bahwa sejak tahun 1900an sudah dimulai penelitian laut di Indonesia yang bersifat ilmiah dan hingga sekarang masih belum banyak dieksplorasi terutama fenomena laut dalam dan prediksi dimasa mendatang. Sejalan dengan penelitian ilmiah laut, dibentuklah lembaga riset yang didalamnya sebagian disponsori oleh Universitas. Dalam kurun waktu sekitar 50 tahun, sejak departemen/jurusan/prodi ini berada di Indonesia, sudah ada hampir 30 universitas yang memiliki kajian kelautan yang pada awalnya hanya ada 6 universitas dibawah Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan.

Buku ini mudah-mudahan bermanfaat bagi mahasiswa dan pembaca yang ingin mengetahui tentang kelimuan kelautan sebagai bahan dasar untuk melanjutkan lebih jauh tentang kelautan. Semoga buku ini bermanfaat dan memberikan warna tersendiri dari buku-buku lainnya.

Selamat membaca.

SAMBUTAN

Dr. Ir. Achmad Purnomo, M.app.Sc

Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan

Kementrian Kelautan dan Perikanan

Mei, 2015

Seraya memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, saya menyambut baik penerbitan buku yang berjudul "Dinamika Oseanografi, Deskripsi Karakteristik Massa Air dan Sirkulasi Laut" yang hadir pada saat yang tepat.

Indonesia yang memiliki sekitar 14.664 pulau dan diapit oleh 2 samudra dan 2 benua mempunyai tantangan tersendiri dalam pengelolaan lautnya. Deskripsi tentang laut secara komprehensif dan kontinu sampai saat ini masih terus berkembang dan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam pengelolaan negara yang berbasis maritim. Pembelajaran tentang dinamika ini sudah berkembang dengan pesat di Indonesia. Sejarah mencatat bahwa sejak tahun 1900an sudah dimulai penelitian kelautan di Indonesia meskipun masih fenomena laut yang terus dieksplorasi.

Tantangan pada saat ini akan lebih kompleks dikarenakan teknologi yang sudah ada akan memberikan "warna" tersendiri pada pengukuran dengan tingkat presisi tinggi sehingga pemahaman tentang kelautan semakin baik. Eksplorasi, instrumentasi, penginderaan jarak jauh, dan modelling merupakan kajian-kajian yang perlu secara intens dilakukan di Indonesia.

Akhirnya, saya berharap bahwa keberadaan buku ini tidak sebatas memperkaya khasanah pengetahuan kita, namun juga dapat menjadi sumber inspirasi bagi mahasiswa khususnya, dan pedoman bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam mempersiapkan kebijakan dan pengelolaan laut.

Saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Penulis, Noir Primadona Purba dan Widodo Setiyo Pranowo yang telah

mencurahkan tenaga dan pikirannya, serta kepada seluruh pihak yang telah mendukung penerbitan buku ini.

Buku ini mudah-mudahan bermanfaat bagi mahasiswa dan pembaca yang ingin mengetahui tentang kelimuan kelautan sebagai bahan dasar untuk melanjutkan pemahaman yang lebih jauh tentang kelautan.

Selamat membaca.

DAFTAR ISI

PENGANTAR,	i
UCAPAN TERIMA KASIH,	iv
KONTRIBUTOR,	vii
SAMBUTAN,	viii
DAFTAR ISI,	xi
DAFTAR GAMBAR,	xiv
DAFTAR TABEL,	xix
SATUAN DAN CARA PENULISAN DALAM OSEANOGRAFI FISIKA,	xx
PANDUAN DAN TUJUAN INSTRUKSIONAL,	xxi

I. Laut dan Kelautan, 2

- 1.1. Sejarah, 8
- 1.2. Pendekatan Kelautan, 20

II. Sifat Fisis dan Kimia Air Laut, 31

- 2.1. Temperatur, 34
 - 2.1.1. Temperatur Insitu dan Potensial, 41
 - 2.1.2. Studi Kajian Khusus, 46
- 2.2. Salinitas, 47
- 2.3. Tekanan, 55
- 2.4. Densitas, 57
- 2.5. Cahaya dan Bunyi, 61
- 2.6. Kecerahan dan Kekeruhan, 70
- 2.7. Tracer utama dan tracer lainnya, 71
 - 2.7.1. pH, Oksigen terlarut, dan CO₂, 71
 - 2.7.2. Nitrat-Phospat dan Silika, 77
- 2.8. Kontur Bawah laut, 79

III. Arus Laut, 88

- 3.1. Konsep Penting, 89
- 3.2. Gaya Pembangkit dan Peubah, 91
 - 3.2.1. Gaya pembangkit, 92
 - 3.2.2. Gaya peubah, 94
- 3.3. Persamaan Gerak Arus, 96
- 3.4. Arus Permukaan, 99

- 3.5. Arus Laut Dalam, 106
 - 3.5.1. Karakteristik, 108
 - 3.5.2. Laut Dalam berdasarkan lokasi, 110
- 3.6. Gaya Coriolis, 113
- 3.7. Arus Geostrofik, 116
- 3.8. Fenomena Ekman, 117
- 3.9. Taikan air dan Penyasapan, 120
- 3.10. Langmuir Cells (LCs), 129
- 3.11. Arus Pasang-Surut (Pekala), 134
- 3.12. Sistem arus global, 137
- 3.13. Sistem arus di Indonesia, 138

IV. Gelombang Laut, 148

- 4.1. Karakteristik Gelombang, 149
- 4.2. Mekanisme Gelombang, 156
- 4.3. Studi Kasus, 160

V. Pasang Surut, 165

- 5.1. Teori Pasang-Surut, 166
- 5.2. Mekanisme Pasang-Surut, 171
- 5.3. Sistem Amphidromik, 176

VI. Data dan Instrumen Kelautan, 184

- 6.1. Penanganan data, 185
- 6.2. Instrumen dan Metode, 188
 - 6.2.1. Posisi, 189
 - 6.2.2. Kedalaman, 189
 - 6.2.3. Air Sampel, 192
 - 6.2.4. Parameter Fisis Dasar, 196
 - 6.2.4.1. Temperatur, Salinitas, Tekanan, 196
 - 6.2.4.2. Kecerahan, pH, DO, 199
 - 6.2.5. Pengukuran Arus, 204
 - 6.2.6. Platform Buoy dan Mooring, 210
 - 6.2.7. Pengukuran Gelombang, 212
 - 6.2.8. Pengukuran Pasang-Surut, 214
 - 6.2.9. Pengukuran Profil Massa Air Menggunakan Argo Float, 217

VII. Operasional Oseanografi Untuk Kelautan Dan Perikanan Di Indonesia, 228

7.1. Laut Indonesia Sebagai Sebuah Poros Maritim, 229

7.2 Kebutuhan Sistem Operasional Oseanografi, 231

7.3 Ekspedisi dan Survei Oseanografi, 233

7.4 Jaringan Pemantauan Oseanografi, 246

7.5. Sistem Operasional Oseanografi, 252

INFORMASI SUMBER DATA, 267

INDEKS, 270

GLOSSARIUM, 273

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Perjalanan Magellan mencari rempah-rempah, 1
- Gambar 2. H.M.S Challenger pada tahun 1878, 10
- Gambar 3. Gambaran awal peta bumi, 13
- Gambar 4. Perkembangan penelitian kelautan di Indonesia, 16
- Gambar 5. Phyteas of Massalia, 18
- Gambar 6. Perjalanan James Cook mengitari dunia, 18
- Gambar 7. Perjalanan James Cook pada abad 15 dan 16, 18
- Gambar 8. Perjalanan Wallacea di Indonesia Timur, 18
- Gambar 9. Stasiun pengukuran hidrografi Siboga dan Snellius, 19
- Gambar 10. Perbandingan kedalaman laut dan ketinggian gunung, 21
- Gambar 11. T-S diagram yang sering disebut sebagai "Finger Print", 30
- Gambar 12. Struktur air untuk air laut, 32
- Gambar 13. Perbedaan jarak panas yang diterima oleh perairan secara vertikal dan horizontal, 37
- Gambar 14. (kiri) Kondisi panas pada permukaan perairan dan (kanan) konsentrasi pemanasan di wilayah ekuator dan kutub, 38
- Gambar 15. Ocean Thermal vents, 38
- Gambar 16. Profil temperatur secara horizontal di kepulauan Anambas, 38
- Gambar 17. Kondisi temperatur secara vertikal, 38
- Gambar 18. Contoh profil Vertikal Temperatur di barat sumatera dari hasil pelayaran MOMSEI 2011 dengan Balitbang-KP, 39
- Gambar 19. Kondisi termperatur di ekuator, lintang menengah, dan lintang tinggi, 40
- Gambar 20. Profil Temperatur hingga kedalaman 50 meter yang diolah dengan ODV, 43
- Gambar 21. Profil T-S yang menggunakan temperatur potensial untuk menentukan massa air disuatu perairan, 43
- Gambar 22. Kondisi Temperatur Insitu di perairan selat Rupert, Riau, 45
- Gambar 23. Anomali dan SPL di perairan Bunaken dan Arnavon, 46
- Gambar 24. Persentase komponen Mayor-Minor kadar air laut, 48
- Gambar 25. Profil Salinitas terhadap kedalaman, 51
- Gambar 26. Penampang melintang salinitas di Atlantik bagian barat, 52
- Gambar 27. Plot rerata salinitas permukaan laut, 53

- Gambar 28. Densitas dan ketidaklienaran suhu dan salinitas, 57
- Gambar 29. Fungsi dari temperatur, salinitas, dan densitas terhadap kedalaman, 59
- Gambar 30. Kondisi MLD di selatan Jawa, 60
- Gambar 31. Penetrasi cahaya kedalam perairan, 63
- Gambar 32. Profil kecepatan suara, 68
- Gambar 33. Profil suara dan kecepatan minimum, 69
- Gambar 34. Kecerahan di Kabupaten Anambas dan Kota Cilegon, 71
- Gambar 35. Skala pH dan hubungannya dengan salinitas, 72
- Gambar 36. Kondisi pH di perairan Kota Cilegon, 73
- Gambar 37. Profil melintang oxygen di Atlantik dan Pasifik, 75
- Gambar 38. Aliran bersih karbon di perairan Indonesia selama bulan Februari, 77
- Gambar 39. Penampang melintang phospat di wilayah Atlantik dan Pasifik, 78
- Gambar 40. Penampang melintang dasar laut, 80
- Gambar 41. Topografi dasar laut global dan Indonesia, 81
- Gambar 42. Peta awal tentang gulfstream, 87
- Gambar 43. Gaya pada arus, 92
- Gambar 44. Gaya Peubah oleh basin yang terjadi di Kepulauan Anambas pada Musim Timur, 95
- Gambar 45. Penyerapan energi angin di permukaan, 99
- Gambar 46. Kondisi Angin (U10) dan Arus Permukaan di sekitar SEC (South Equatorial Currents) dengan data dari model INDESO, 100
- Gambar 47. Magnitudo angin, arus permukaan, dan gelombang, 100
- Gambar 48. Pola angin dan pola arus yang diubah oleh gaya coriolis, 101
- Gambar 49. Sirkulasi arus permukaan pada Musim Timur dan Barat di Indonesia dengan data ERDDAP, 103
- Gambar 50. Pola arus di Jawa Barat. Data dari AVISO, 104
- Gambar 51. Profil arus di perairan Barat Sumatera, 105
- Gambar 52. Proses Konveksi di Atlantik Utara, 107
- Gambar 53. Aliran Termohaline dalam 3 dimensi, 108
- Gambar 54. Profil menegak temperatur dan T-S diagram, 110
- Gambar 55. Perubahan gerak akibat gaya coriolis, 113
- Gambar 56. Gaya Coriolis, 114
- Gambar 57. Kondisi pembelokan angindi 150 LU (tanda b) dan arus di BBU dan BBS akibat gaya coriolis, 115
- Gambar 58. Teori Pengembangan Model Ekman, 118
- Gambar 59. Transpor massa air Ekman di wilayah BBU, 119

- Gambar 60. Hubungan upwelling dengan perikanan, 120
- Gambar 61. Taikan air di perairan pantai, 121
- Gambar 62. Realita wilayah konvergen, 122
- Gambar 63. Kaitan antara easterlies dan westerlies dengan pembentukan daerah konvergensi, divergensi, downwelling, upwelling dan arus geostropik, 123
- Gambar 64. Lokasi upwelling pendugaan dan diketahui di wilayah Indonesia, 125
- Gambar 65. Sebaran Klorofil-a Musim Peralihan I dan II, 126
- Gambar 66. Profil arus di pantai California dengan data MODIS, 126
- Gambar 67. Konsentrasi klorofil-a di Selatan Jawa akibat efek El Nino, 127
- Gambar 68. Sebaran plankton di perairan Belitung, 129
- Gambar 69. Fenomena LCs di wilayah Pasifik, 130
- Gambar 70. Pola Langmuir di danau, 131
- Gambar 71. Penjalaran gelombang, 136
- Gambar 72. Perjalanan massa air diseluruh perairan dunia, 138
- Gambar 73. currents-rose buoy 14 dan 16, 140
- Gambar 74. Titik pusat arus eddy di selatan Jawa pada Musim Barat, 141
- Gambar 75. "The Great Wave of Kanagawa", 148
- Gambar 76. Konsep gelombang, 151
- Gambar 77. Orbital Gelombang perairan, 152
- Gambar 78. Frekuensi dan Perioda dari gerak vertikal, 153
- Gambar 79. Tipe gelombang di pantai, 159
- Gambar 80. Ketinggian gelombang pada musim Barat (MB) dan Musim Timur (MT) di Kabupaten Garut, 160
- Gambar 81. Bangunan pasang surut pertama, 164
- Gambar 82. Konstelasi gaya gravitasi antara bumi, bulan, dan matahari, 168
- Gambar 83. Deklinasi bulan dan kondisi pasang di permukaan bumi, 169
- Gambar 84. Konstelasi bumi, bulan, dan matahari terhadap pasang surut, 170
- Gambar 85. Kondisi gaya sentrifugal dan keseimbangannya, 171
- Gambar 86. Posisi apogee dan perigee, 172
- Gambar 87. Tipe Pasang surut yang ada di dunia, 173
- Gambar 88. Pola Pasang Surut di beberapa wilayah Indonesia, 175
- Gambar 89. Range pasang surut untuk beberapa wilayah di Indonesia, 176
- Gambar 90. Sistem Amphidromik dan Amphidromik Poin (AP), 177
- Gambar 91. Perjalanan massa air di chanel tertutup, 178
- Gambar 92. Amphidromic point di belahan dunia, 178
- Gambar 93. LADCP, CTD, dan Rosette, 183

- Gambar 94. Echosounder dan ketelitian pemeruman, 190
- Gambar 95. Sistem pemancaran suara dari tranducer, 191
- Gambar 96. Botol Nansen/Niskin, 193
- Gambar 97. Pengambilan sampel air di botol Nansen, 196
- Gambar 98. CTD yang diletakkan di bawah botol rosette, 197
- Gambar 99. Tampilan hasil dari CTD pada perjalanan INDOMIX di Halmahera, 197
- Gambar 100. Pemakaian XBT, 198
- Gambar 101. Instrumen mekanik kecerahan perairan, 201
- Gambar 102. pH meter, 202
- Gambar 103. DO Portabel, 203
- Gambar 104. Penampang GPS Drifter/topdal, 205
- Gambar 105. Aplikasi float tracking untuk kondisi arus permukaan, 205
- Gambar 106. Current Meter, 206
- Gambar 107. Penampang ADCP, 208
- Gambar 108. Deploy ADCP di laut Halmahera, 209
- Gambar 109. Konfigurasi TRITON Buoy, 211
- Gambar 110. Profil Vertikal arus pada komponen u dan v di Halmahera, 212
- Gambar 111. Pemasangan Palem di dermaga, 216
- Gambar 112. Komponen teknis Argo Float, 218
- Gambar 113. Instalasi pemasangan Argo float Tipe APEX, 219
- Gambar 114. Setup Argo Float Tipe PROVOR dan pengujian transmisi pengiriman sinyal posisi GPS dari CSIRO Hobart, 219
- Gambar 115. (kiri) box yang berisi argo float di deck kapal (kanan) satu box berisi 2 argo float, 221
- Gambar 116. (kiri) Mencari ARGO FLOATS sesuai dengan urutan pemasangan, (kanan) melakukan re-setting argo floats, 221
- Gambar 117. (kiri) mengecek kesiapan argo (kanan) jika bagian atas terlihat kempes/datar berarti belum siap dilepas, 221
- Gambar 118. (kiri) jika gembung, maka sudah siap dilepas, (kanan) melepas penutup sensor CTD, 222
- Gambar 119. (kiri) pemasangan ARGO FLOATS ke sling, (kanan) proses penurunan dibantu kru kapal, 221
- Gambar 120. (kiri) ARGO FLOAT sudah mendekati perairan (kanan) ARGO FLOAT yang baru dilepaskan, 222
- Gambar 121. Peta Arus Laut dan Curah Hujan di Indonesia, 228
- Gambar 122. Sistem kompleks iklim kelautan di Wilayah Pengelolaan Perikanan di Benua Maritim Indonesia, 230

- Gambar 123. INAGOOS dan GOOS, 232
- Gambar 124. Ekspedisi pelayaran ilmiah, 235
- Gambar 125. Peta Jalur Pelayaran INDOMIX, 239
- Gambar 126. Instrumen pengukuran di RV Marion Dufresne, 240
- Gambar 127. Sebaran stasiun pengukuran di sekitar perairan Indonesia, 244
- Gambar 128. Sebaran stasiun pengukuran di sekitar perairan Indonesia, 245
- Gambar 129. Jaringan instrumen pemantauan regional Samudera Hindia dalam kerangka Indian Ocean Observing System (IndOOS), 246
- Gambar 130. RAMA mooring, 247
- Gambar 131. Stasiun pengamatan bersama Indonesia – Tiongkok dalam kerangka kerjasama ICCOC, 248
- Gambar 132. Sebaran 11 unit sub surface mooring buoy INSTANT project 2003 – 2007, 249
- Gambar 133. Upacara penglepasan Ekspedisi INSTANT pada Juni 2005 diatas Kapal Penelitian Baruna Jaya VIII, 250
- Gambar 134. Rute ARGO Floats, 251
- Gambar 135. Salah satu Argo Float (No. Hull 1921) yang dilepaskan di Samudera Hindia Tenggara pada April 2005, 252
- Gambar 136. Kompleks gedung Balai Penelitian dan Observasi Laut di Perancak Bali berikut fasilitas antena penerima data satelit optis dan radarsat, 253
- Gambar 137. Konsep umum sistem operasional oseanografi untuk kelautan dan perikanan yang dibangun dan dikelola oleh Badan Litbang KKP melalui kerjasama Indonesia – Perancis Infrastructure Development for Space Oceanography (INDESO), 254
- Gambar 138. Contoh tahapan dari sistem inti penerimaan data satelit radarsat untuk aplikasi tumpahan minyak, 255
- Gambar 139. Widodo S. Pranowo melakukan kunjungan ke CLS di Brest Perancis dalam rangka INDESO Factory Acceptance Test, 255
- Gambar 140. Pemodelan numerik hidrodinamika, biogeokimia, dan dinamika populasi (SEAPODYM) diimplementasikan pada sistem inti kedua dari sistem operasionalisasi oseanografi INDESO, 256
- Gambar 141. Kunjungan di SEAPODYM dan BPOL, 257
- Gambar 142. INDESO Factory Acceptance Test, 257
- Gambar 143. Tampilan antar muka untuk pengguna Web portal sistem operasional oseanografi INDESO, 258
- Gambar 144. Kondisi arus untuk melihat pola South Equatorial Currents, 260

DAFTAR TABEL

- Tabel 1. Fakta tentang laut, 22
- Tabel 2. Konsentrasi as-gas yang ada di Atmosfer dan laut, 31
- Tabel 3. Komponen Mayor dan Minor, 49
- Tabel 4. Hubungan kedalaman dengan tekanan, 56
- Tabel 5. Densitas pada berbagai temperatur, 58
- Tabel 6. Panjang Gelombang dari cahaya tampak, 64
- Tabel 7. Beberapa Karakteristik massa air di berbagai samudera, 112
- Tabel 8. Derajat Perbedaan antara Gelombang dan Garis Pantai, 161
- Tabel 9. Tabel kategori pasang surut, 174
- Tabel 10. Survei ilmiah Oseanografi Laut Dalam yang dilakukan di wilayah Indonesia dari kurun waktu abad 18 hingga abad 19, 234
- Tabel 11. Beberapa ekspedisi oseanografi yang dikoordinatori dan/atau melibatkan Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Kelautan dan Perikanan, 236
- Tabel 12. Tipe Instrumen dalam dataset WOD09, 242
- Tabel 13. Rincian dataset WOD09, 242

SATUAN DAN CARA PENULISAN DALAM OSEANOGRAFI FISIKA

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyne cm}^{-2}$$

$$1 \text{ Km}^2 = 10^6 \text{ m}^2 = 100 \text{ ha}$$

$$1 \text{ l} = 10^3 \text{ ml} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ h} = 3.6 \times 10^3 \text{ s}$$

$$E = \text{Energi (J m}^{-2}\text{)}$$

$$\rho = \text{Densitas air laut (kg m}^{-3}\text{)} = 1 \text{ kg/m}^3$$

$$g = \text{gaya gravitasi (m s}^{-2}\text{) sebanding dengan } 6.673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$$

$$H = \text{tinggi gelombang (m)}$$

$$p = \text{Tekanan} = 1 \text{ Pascal} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$v = \text{Kecepatan} = 1 \text{ m/s}$$

$$Sv = \text{Sverdrup} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \text{Volume} = 1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Hz} = \text{Frekuensi} = \text{s}^{-1}$$

$$\omega = 0.72921 \times 10^{-4} \text{ rad s}^{-1}$$

$$1 \text{ \AA} = 1 \text{ Angstrom} = 0.1 \text{ nm} = 100 \text{ pm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1^\circ = 60'$$

PANDUAN DAN TUJUAN INSTRUKSIONAL

Buku ini disusun berurutan dengan maksud agar pembaca memulai dari bagian yang paling terdahulu sebagai konsep dasar kemudian beralih ke bagian-bagian yang termasuk dalam aplikasi lainnya. Beberapa panduan antara lain :

1. Buku ini disusun secara sistematis dan berbeda dari buku lainnya, dimana terdapat hal-hal yang merupakan hasil penelitian baik dari penulis, peneliti dalam dan luar negeri. Namun, diharapkan pembaca mereferensi buku lain untuk memberikan khasanah yang berbeda. Nama buku dan penulis ada pada daftar pustaka,
2. Beberapa bagian dimasukkan pertanyaan-pertanyaan yang diajukan oleh masyarakat/mahasiswa sehingga diusahakan untuk menjawabnya secara logika ilmiah sederhana yang selanjutnya diaplikasikan secara ilmiah,
3. Pengolahan data di buku ini dilakukan dengan berbagai perangkat lunak sehingga diharapkan mahasiswa/pengguna dapat mencoba sendiri,
4. Buku ini sebagian besar didapat dari hasil penelitian. Untuk itu, beberapa gambar dan tulisan mungkin akan berbeda dengan hasil yang didapatkan dari buku lainnya. Diharapkan pembaca dapat menelaah dan mengkomparasi hal tersebut,
5. Buku ini terdiri dari 7 Bab yang dipetakan berdasarkan karakteristik dan dinamika fisis laut serta bagaimana operasional oseanografi di Indonesia. Diharapkan membaca satu persatu bagian dari bagian awal.
6. Hal-hal yang ingin didiskusikan lebih lanjut dapat melalui email noaa.phd@unpad.ac.id atau widodo.pranowo@gmail.com.

Sebagaimana telah diterangkan diatas, bahwa buku ini dapat memberikan gambaran terhadap mata kuliah yang ada di Universitas pada kajian kelautan. Beberapa diantaranya adalah Pengantar Ilmu Kelautan, Oseanografi fisis, Oseanografi kimia, instrumentasi kelautan, geologi laut, sedimentologi, Oseanografi Perikanan dan mata kuliah irisan lainnya. Untuk itu, berdasarkan

Tujuan Instruksional mata kuliah maka buku ini memberikan pemahaman tentang :

Deskripsi Singkat :

Buku ini membahas mengenai karakteristik/sifat fisis air laut dan dinamikanya (Arus, gelombang, dan pasang-surut), instrumen pendukungnya, serta bagaimana operasional oseanografi di Indonesia. Setelah membaca buku ini diharapkan mahasiswa dan pembaca akan dapat menerangkan fenomena oseanografi secara umum dan kemudian melihat karakteristik oseanografi Indonesia dan mengaplikasinya dalam bidang kelautan.

Bagian 1



Gambar 1. Perjalanan Magellan mencari rempah-rempah¹

Ferdinand Magellan (1480 – 1521) adalah pelaut yang terkenal dimasanya dan perjalanannya telah banyak didokumentasikan. Awal pelayarannya (1519–1522) untuk mencari rempah-rempah yang akan dikirim ke Eropa yang diutus oleh Raja Spanyol (King Charles I) mencari jalan baru dengan melewati jalan barat ke "spice island" yang sekarang disebut dengan Maluku. Dalam perjalanannya ia terlibat peperangan di Philipina dan tewas, sehingga dalam perjalanan pulang ke Spanyol hanya beberapa orang saja (sekitar 18 orang). Namun, selama perjalanannya berhasil memetakan kondisi samudra dan laut terutama yang dilewatinya. Jika dilihat dari Gambar 1, sebenarnya ada 2 *leakage* (Bocoran Antar Samudra-BAS) yang terkenal dan sudah pernah dilewati yakni *Indonesian Troughflow* (ITF) dan *Agulhas Current* di selatan Afrika.

¹ Wikipedia. (2014). Diunduh tahun 2014 dari Wikipedia : Ferdinand Magellan: http://bar.wikipedia.org/wiki/Ferdinand_Magellan

PENULIS

NOIR PRIMADONA PURBA



dilahirkan di Pematangsiantar dengan mengenyam pendidikan di Universitas Riau (2000–2005) dalam bidang Oceanography dan dilanjutkan di Sains Kebumihan di Institut Teknologi Bandung (2005–2008). Saat ini bekerja di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Kelautan FPIK-Universitas Padjadjaran-Bandung. Pelayaran yang pernah dilakukan antara lain pemeruman di selat Rupaat dengan Kapal Riset Senangin, pulau Damar, Luwuk, perairan Belitung bersama PKIM-DIKTI, pelayaran INDOMIX-France collaboration dengan topik Arus Lintas Indonesia. Beberapa penelitian yang sudah dilaksanakan antara lain: BIXRE (Biawak Expolration and Research) I dan II tahun 2012 dan 2013 sebagai koordinator peneliti, WE2P (West-East Energy Project) pada tahun 2013 sebagai koordinator peneliti di selatan Jawa Barat, TRAX (Technical Research and Exploration) I dan II di Biawak dan Banten sebagai peneliti utama.. Bersama mahasiswa kelautan pada tahun 2010, membentuk Kelompok Studi Instrumen dan Survei kelautan (KOMITMEN Research Group) yang bergerak dalam bidang eksplorasi, instrumentasi, dan survei kelautan.



WIDODO SETIYO PRANOWO, menyelesaikan pendidikan dasar hingga menengah di kota kelahirannya Purwokerto. Mengenyam pendidikan di Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro Semarang (1993–1998) dan di Jurusan Geofisika dan Meteorologi Institut Teknologi Bandung (1999–2002). Melalui program *German-Indonesia Tsunami Early Warning System* (GITEWS), gelar Doktor di bidang Tekno-Matematika diraihinya pada tahun 2010 dari Universitas Bremen dan *Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research*, Jerman. Sejak 2011 menjadi peneliti bidang Oseanografi di Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Kelautan dan Perikanan. Dan sejak awal 2014 juga aktif sebagai dosen pengajar di Jurusan Teknik Hidro-Oseanografi Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL). Pengalaman di bidang penelitian oseanografi antara lain: terlibat erat di program penelitian Arus Lintas Indonesia “*International Nusantara Stratification and Transport*” (INSTANT) 2003–2006; Melakukan instalasi dan penglepasan Argo Float di Samudera Hindia Tenggara bekerjasama dengan CSIRO Australia (2004–2005); Menjadi koordinator kerjasama Indonesia-China untuk penelitian “*Monsoon Onset Monitoring and Its Social and Ecosystem Impacts*” (MOMSEI) 2013–2014; Koordinator Topik *Climate Change and The Ocean* (CISKA) pada kerjasama Indonesia-Jerman *Science for Protection Indonesia Marine-Coastal Ecosystems* (SPICE) III 2012–2013, yang kemudian sejak akhir 2014 berubah nama menjadi *Science for Marine Ecosystem and Fisheries* (SIMEF) dimana Widodo ditunjuk sebagai Program Koordinatornya. Sejak 2014 pula, Widodo ditunjuk menjadi Koordinator *End-User of Satellite Application for Oil Spill Monitoring* pada program “*Indonesia Infrastructure Development for Space Oceanography*” (INDESO).

ISBN : 978-602-0810-20-1

Unpad Press
Gedung Rektorat Lantai IV
Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung - Sumedang Km 21 Jatinangor
Telp (022) 84288812 Fax (022) 84288896