

TINJAUAN

AIR TAWAR DI PULAU KECIL TERUMBU KARANG DERAWAN: MASALAH DAN ADAPTASI TERHADAP KENAIKAN MUKA AIR LAUT

Wahyoe S. Hantoro, Sapri Hadiwisastra, Edy M. Arsadi, A. Masduki, A.Y. Airlangga, Suyatno, Engkos Kosasih.

***ABSTRACT** Derawan Island is a part of coral reef islands off the coast of the Berau River estuary. Several drill holes that were made in the middle of sandbar shows several sedimentation periods occurred concurrently with the sea level changes since the last glacial age (14000 years). The information illustrates the possibility of tectonic subsidence that was confirmed with the shallow seismic reflection data.*

Naskah masuk: 4 November 2009

Naskah diterima: 3 Desember 2009

Wahyoe S. Hantoro

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : wshantoro@geotek.lipi.go.id

Sapri Hadiwisastra

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : sapri@geotek.lipi.go.id

Edy M. Arsadi

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : arsadi@geotek.lipi.go.id

Suyatno

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : suyatno@geotek.lipi.go.id

Engkos Kosasih

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135

A. Masduki

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
Jalan Dr. Djundjuran 236 Bandung 40174

A.Y. Airlangga

School of Life Sciences and Technology
Biomangement, ITB
Jalan Ganesha 10 Bandung 40135

The possible global sea level rise about 1 cm/yr indicates that Derawan Island and the coral reefs surrounding the Berau estuary are in serious threats. One of the threats is the decrease of water supply, which the main supply currently is meteoric water. The increase of sea level would lift up the seawater and decrease the thickness of freshwater lenses on its top, which is currently only 2 – 4 m. First step to solve the problem is freshwater usage regulation. Then, the sediment where the freshwater is collected has to be refined to avoid the seawater mix from the formation beneath or from the high tide. The effort can be done by plant a certain plant that was tested for its ability and also avoid the excess of evapotranspiration.

Keywords: coral reef, Derawan Island, freshwater, Kalimantan, small island.

ABSTRAK Pulau Derawan merupakan bagian dari gugusan pulau terumbu karang yang tumbuh di tinggian atau substrat dari endapan pasir dan lempung di perairan lepas pantai estuari Sungai Berau. Sejumlah pemboran yang dibuat di jalur tengah di gosong pasir dan Pulau Derawan memperlihatkan suatu urutan pengendapan pulau terumbu karang yang mengalami perulangan perubahan muka laut serta dengan ciri pengendapan seiring kenaikan cepat muka laut sejak zaman es terakhir (14.000 th). Data tersebut, menempatkan gugusan pulau ini pada kemungkinan terjadinya penurunan tektonik. Hal ini juga dipertegas oleh data seismik pantul dangkal dari kawasan disekitarnya. Memperhatikan skenario kenaikan muka laut global 1 cm/tahun, Derawan dan gugusan pulau terumbu karang halang di perairan dan estuari Berau sesungguhnya saat ini berada pada

ancaman serius dengan berbagai konsekuensinya. Ancaman tersebut salah satunya adalah akan sangat berkurangnya ketersediaan air tawar pulau yang hanya diperoleh dari air meteorik. Naiknya muka air laut akan menaikkan muka air asin yang di atas mana bertengger lensa air tawar yang akan segera menipis. Saat ini berdasar pengukuran, lapisan air tawar mempunyai tebal tidak merata sekitar 2-4 m. Langkah awal mengatasi masalah ini adalah melakukan upaya pengaturan pemakaian air tawar sehingga selalu seimbang neracanya serta mengusahakan memperhalus sedimen yang menjadi tempat air tawar terkumpul sehingga dapat menghalangi masuknya air asin dari formasi dibawahnya maupun langsung dari arah samping (pantai) ketika pasang naik paling tinggi. Upaya ini dapat dilakukan dengan penanaman jenis pohon tertentu yang sudah diuji kemampuan dan perilakunya namun juga terhindar dari dampak kelebihan evapotranspirasi.

Kata kunci: air tawar, Kalimantan, Pulau Derawan, pulau kecil, terumbu karang.

PENDAHULUAN

Definisi pulau kecil lebih banyak membuat batasan mengenai ukurannya, sementara ciri umum yang dapat dikenali yang terpenting adalah terpisahnya ekosistem berikut sumber dayanya dari pulau utama serta dari pulau lainnya. Dalam beberapa hal, tidak sepenuhnya ekosistemnya terpisah bila yang dimaksud adalah lingkungan lautnya, terlebih bila dialasi oleh dasar perairan dangkal (Sardjono et al, 2007). Dalam hal ekosistem daratnya, yang menjadi batas fisik adalah air laut yang mengelilingi pulau, menjadikan sistem air tawar yang ada dipulau tidak mempunyai hubungan terbuka dengan daratan utama. Air tawar hanya berasal dari air meteorik, jatuh setitik demi setitik, meresap dan merembes keluar ketika air telah memenuhi rongga pori-pori tanah. Keberadaan air tawar hanya ada di permukaan seolah mengapung di atas air asin yang mengisi rongga pori-pori tanah di bagian bawah. Jumlah dan keberadaan air tawar di pulau kecil berada pada keterbatasan yang tergantung oleh banyak hal, antara lain kondisi geologi, bentuk ukuran pulau, kondisi perairan (tinggi pasang surut, arus, dll),

hujan serta biota yang menghuninya. Pada keadaan sekarang, manusia menjadi penentu utama pada neraca air tawar di pulau. Pulau-pulau kecil yang terserak diberbagai perairan di Indonesia, memperlihatkan keragaman yang dikendalikan terutama oleh bagaimana proses dan pada mandala geologi ia terbentuk (Sardjono et al., 2007). Delta dan pulau terumbu karang adalah jenis pulau relatif belum lama terbentuk, dari sekian jenis pulau kecil lainnya. Pembentukan pulau-pulau tersebut erat kaitannya dengan gerak tektonik dan perubahan muka laut yang memberi kendali pada neraca pengendapan sedimen dan pertumbuhan terumbu pembentuk pulau. Genesa pulau kecil sangatlah penting artinya bagi ciri geologi yang pada gilirannya sangat menentukan cara tersimpan dan neraca air tawar pulau. Salah satu unsur penentu neraca air tawar pulau dan wilayah pesisir, yaitu perubahan muka air laut, pada saat ini merebak menjadi isu penting yang berkaitan dengan isu pemanasan global. Perubahan muka laut yang dapat menggenangi pesisir atau pulau kecil landai terjadi oleh beberapa gejala alam, antara lain kenaikan muka laut eustasi, tektonik penurunan, limpasan gelombang pasang (cuaca dan astronomis) dan tsunami maupun penurunan oleh gejala yang dipicu oleh kegiatan manusia.



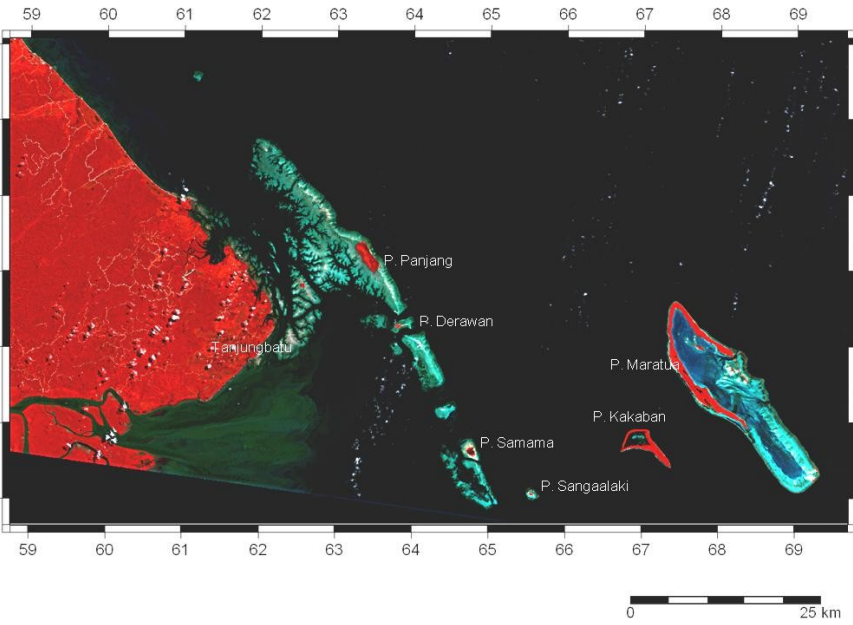
Gambar 1. Citra satelit (dari Google Earth) Pulau Derawan di Kalimantan Timur

Pulau Derawan (Gambar 1) merupakan satu dari beberapa pulau yang terdapat di perairan di muka estuari Sungai Berau di Kalimantan Timur (Gambar 2). Genesa, geologi dan bentuk dari pulau terumbu karang tersebut yang beralaskan

endapan laut dangkal menawarkan bahan kajian mengenai proses sedimentasi yang terdapat di suatu

tinggi terutama saat musim basah (Hastenrath, 1994). Saat puncak musim tenggara, angin

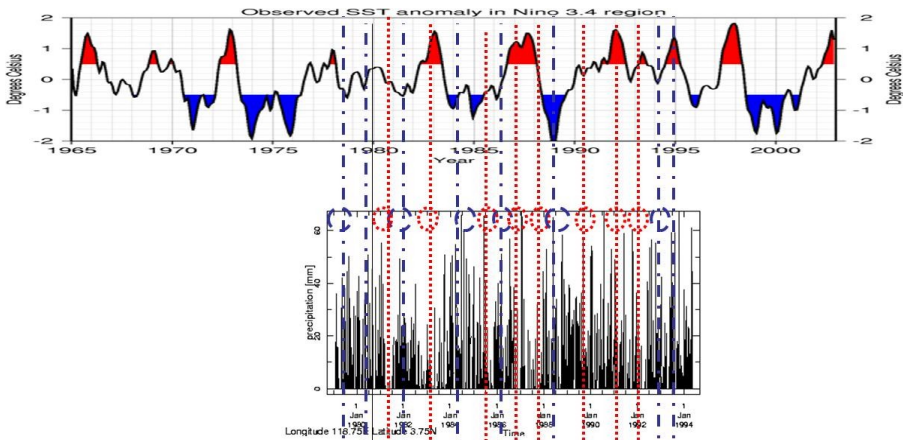
ekosis
eksplc
sedan;
proses
pemar
Klim
Pulau
yang
pada l
di sisi
karang
Letak
conve
luas n
erat h
yang l
(Latie



nghasilkan
 arus utara
 si sedimen
 dan hanyut
 at puncak
 ergerak ke
 (Gambar 4)
 liendapkan
 h diantara
 di kawasan
 luga kuat

 yang kuat
 ilasi angin
 sehingga
 aut dapat
 ; merata.
 ka musim
 atan justru
 mencapai
 perairan.

Evapc
 hutan tropis
 basan menyumbang kelembaban kematangan presipitasi di
 Gambar 2. Citra satelit TMS 7 kawasan muara Sungai Berau dan perairan lepas pantai Kalimantan Timur.

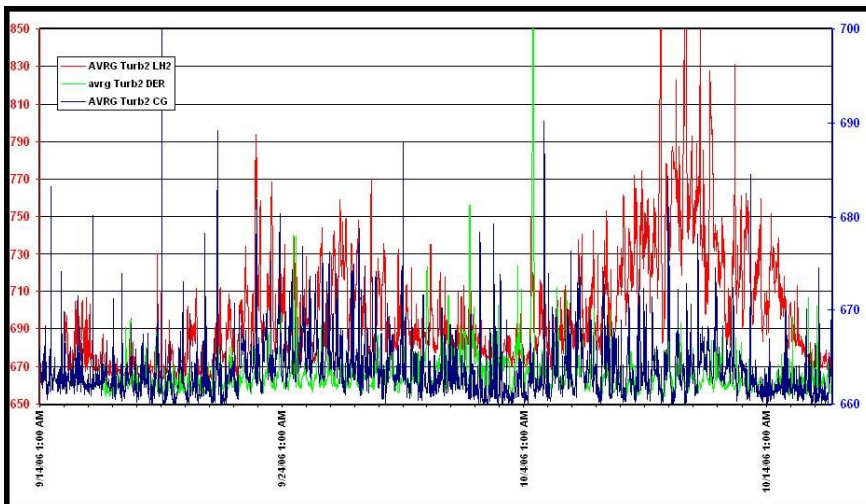


Gambar 3. Hubungan kuat antara pola curah hujan perairan sekitar Derawan dengan gejala ENSO.

Geologi Pulau Kecil dan Pulau Derawan

Pulau-pulau kecil di Indonesia terbentuk dari proses geologi yang bermacam sejak jutaan tahun silam sebagai konsekuensi pertemuan beberapa lempeng samudra dan kerak benua. Di jalur aktif tektonik, pulau kecil terbentuk ketika dasar dari perairan mengalami pengangkatan muncul diatas atau menempatkannya dekat dengan muka laut yang segera ditempati biota terumbu, selanjutnya tumbuh membentuk rataan dan pulau hasil rombakannya. Batuan dasar dari jenis pulau ini

dapat berupa batuan yang pejal padat atau lunak berongga yang menentukan kemudian bagaimana air tawar dapat tersimpan. Pulau yang dihasilkan dari pengangkatan batuan sedimen di jalur tektonik aktif busur luar, bila memiliki lereng landai pesisir pantainya serta mempunyai lingkungan jernih memberi peluang terumbu karang tumbuh mengelilinginya. Di jalur vulkanik, terobosan magma atau lelehannya membentuk daratan sebagai pulau vulkanik dengan ciri batuan lelehan atau lahar yang mengalir menuju laut membentuk endapan kipas

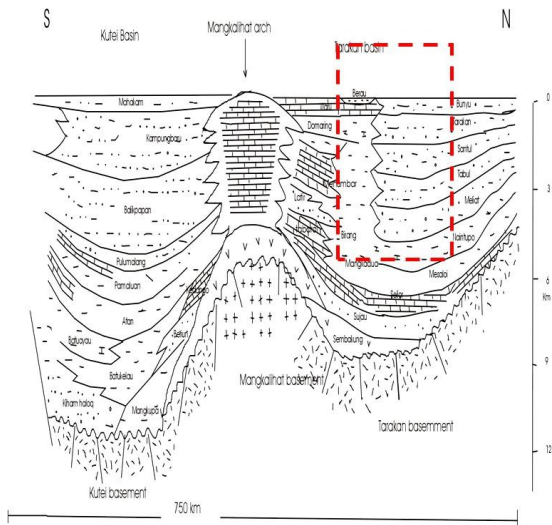
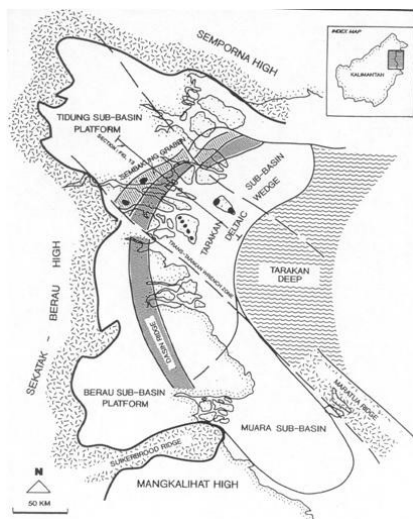


Gambar 4. Rekaman CTD-OBS yang ditempatkan di perairan Derawan memperlihatkan kenaikan muatan suspensi pada bulan Oktober dan November.

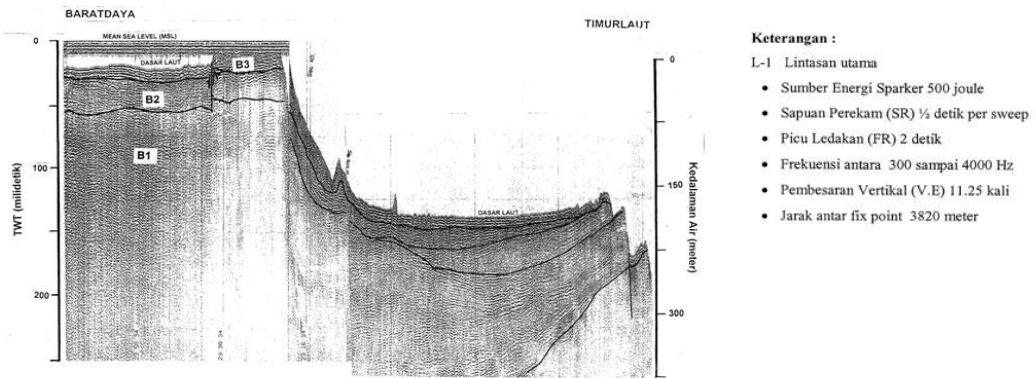
melandai dan berakhir di laut. Endapan vulkanik mempunyai rongga, ke dalam mana air dapat meresap. Air akan tersimpan bilamana menemukan penahan, namun seringkali air merembes mengalir ke luar ke laut.

Pulau delta di muara sungai terbentuk oleh timbunan sedimen dari hulu yang menemukan tempat mengendap di bagian relatif tenang membentuk dataran yang adakalanya hanya terpisah oleh alur sempit, namun daratan ini dapat dikelompokkan sebagai pulau. Delta terbentuk dari endapan halus ketika air bermuatan sedimen kehilangan daya angkut serta mengalami koagulasi. Jenis endapan ini relatif kedap sehingga air meteorik cenderung mengalir melalui alur paritan serta kanal menuju laut. Hanya ketika menemukan endapan berpasir di pematang yang telah lapuk oleh akar pepohonan, air dapat meresap tersimpan walau dalam jumlah terbatas.

Di tepian pulau utama Vulkanik, seringkali terdapat daratan yang semula berupa tinggian yang terpisah membentuk pulau ketika muka laut mengalami kenaikan menyusul pelelehan tudung es pasca zaman es terakhir 17.000 tahun silam. Demikian halnya sejumlah pulau kecil yang terserak di paparan tepian kontinen Sunda dan Sahul yang sebenarnya adalah sisa tinggian paparan tersebut yang terbentuk dari batuan terobosan (granit), malihan dan sedimen tua (Hantoro, et al., 1993, 1994, 1995). Tinggian tersebut mengalami penenggelaman menyusul berakhirnya zaman es yang disusul kenaikan muka laut. Seiring kenaikan muka laut, terbentuk terumbu karang pada tepian pulau yang ikut bergerak naik tumbuh seiring kenaikan muka laut (*catch up reef*), membentuk rataan luar terumbu karang sebagai bagian ekosistem pulau kecil (Hantoro et al., 1996; Park & Hantoro, 2002). Masing-masing kelompok jenis pulau mempunyai ciri batuan atau tanah dengan kemampuan menyimpan air tawar yang berbeda.



Gambar 5. Peta geologi cekungan Tarakan dan sub cekungan Berau (kiri) serta penampang geologi sub cekungan Berau dan cekungan Mahakam yang dibatasi tinggian Mangkalihat.



Gambar 6. Penampang seismic pantul dangkal perairan sekitar Derawan (Ranawidjaja, 2005, komunikasi pribadi)

Geologi Pulau Derawan tidak lepas dari evolusi sub cekungan Berau, sebagai bagian dari cekungan Kutai (Gambar 5) yang dapat ditelusuri sejak mulai terjadinya bukaan pada awal Eosen antara Sulawesi dan Kalimantan. Sejarah tektonik sub cekungan Berau diawali oleh tektonik tarikan pada zaman Eosen Tengah, menyebabkan sesar blok pada cekungan, sama halnya yang terjadi pada cekungan Kutai (Katili, 1978). Pada Miosen Tengah, lempeng Laut Sulu yang berada di utara Sulawesi bergerak menunjam di bawah kerak kontinen Kalimantan Utara, menghasilkan ekstrusi gunung api Neogen di Semenanjung Sempora serta mengontrol kelurusan berarah Barat Laut-Tenggara, serta penunjaman berarah Tenggara lipatan-lipatan di utara cekungan Tarakan. Progradasi urutan tebal sedimentasi delta selama Miosen tengah hingga Pleistosen menghasilkan pula sesar tumbuh dengan struktur “*rollover*” tegak lurus terhadap arah sedimentasi dan mengalami penurunan di bagian timur atau distalnya (Satyana et.al, 1999).

Sekuen stratigrafi di kawasan ini mirip dengan sekuen kawasan delta dan perairan depan muara Mahakam (Gambar 5), dimana sekuen delta atau estuari Holosennya ditandai oleh “*downlapping*” sedimentasi transgresi yang mengisi bagian sayatan lembah dari daratan zaman es sebelumnya. Bagian lebih jauh ditandai oleh sedimentasi “*contourit*” (Faugeres J.C. et al., 1999) menandai adanya pengaruh arus yang diduga sebagai bagian dari Arlindo yang melintas di kawasan ini.

Pulau Derawan terbentuk sebagai pulau terumbu karang, dimulai ketika muka laut naik setelah

berakhirnya zaman es dan susut laut. Ketika muka air laut pada ketinggian 5-7 m di bawah muka laut sekarang, di atas substrat pasiran dan lempung endapan zaman Kuartar, terbentuklah koloni biota stabil yang mengawali ekosistem terumbu karang yang terus tumbuh hingga saat ini. Diawali oleh alga dan koloni moluska, kerangkanya membentuk substrat stabil diatas mana kemudian secara bertahap tumbuh koloni koral di perairan yang relatif jernih. Pada saat pembentukan awal koloni terumbu karang ini, kondisi lingkungan di hulu diduga terjaga dari erosi sehingga perairan juga tidak menerima terlalu banyak muatan sedimen klastik dari sungai. Kejernihan diduga dibantu oleh mulai intensifnya Arlindo (Tomascik et al., 1997) menyapu bagian tepian ini sehingga salinitas tinggi mempercepat flokulasi sedimen yang segera mengendap membuat perairan selalu jernih. Data sementara dari sedimen inti pemboran di Pulau Derawan mendukung penafsiran evolusi perairan ini sejak Kuartar, demikian halnya dengan data seismik pantul dangkal diperoleh dari pengukuran yang melintas tegak lurus pantai melalui jalur tinggian Derawan dan berarah sejajar sumbu jalur (Gambar 6). Pada penampang seismik ini terlihat dengan jelas sekuen sedimen Holosen telah terbentuk sangat tebal, menumpang secara tidak selaras pada satuan lebih tua yang diduga berumur lebih dari 20.000 tahun. Ketebalan sedimen Holosen ini, selain tingginya muatan sedimen pada air sungai, juga disebabkan terjadinya penurunan cekungan di lepas estuari.

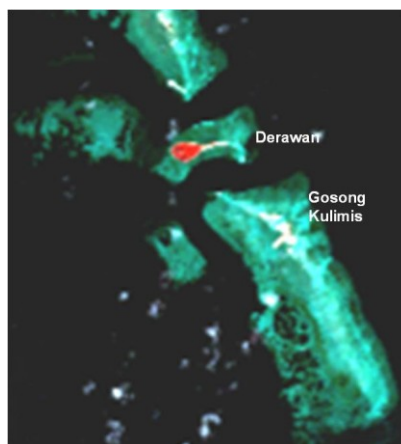
Sekuen lebih tua tersebut merupakan gabungan beberapa seri endapan yang mewakili beberapa perioda pengendapan, namun mengalami pemancungan ketika laut mengalami penurunan permukaan seiring perubahan muka laut eustasi. Data seismik juga menyatakan dengan jelas bahwa sesar normal bekerja aktif di bagian luar gugusan pulau di jalur Muara Tua, namun dengan besaran kurang pada jalur dalam yang ditempati Pulau Panjang, Derawan, dan Samama. Tidak berkembangnya pulau delta kipas sebagaimana dijumpai di Mahakam merupakan salah satu tanda adanya penurunan dasar cekungan.

Geohidrologi Pulau Kecil dan Derawan

Berdasar genesa pulau kecil dan wilayah pesisir, geohidrologi pulau kecil dapat dikenali dalam beberapa jenis. Perbedaan dasar ada pada sebaran, bentuk dan sedimen akuifer tanah dangkal serta cara pengisiannya. Pada pulau terumbu karang, akuifer tanah dangkal terbentuk dari sedimen pasir kasar karbonat yang menutup sisa kerangka koral, tersebar terutama menutup bagian yang mempunyai arah menghadap energi paling tinggi dengan apa sedimen dapat ditimbun. Pengisian air tawar hanya berasal dari air meteorik. Keseimbangan untuk pulau menyimpan air tawar memerlukan waktu lama sehingga terbentuk cebakan air tawar yang umumnya berupa lensa. Lensa ini seolah mengapung di atas air asin, bergerak naik turun seiring ayunan pasang surut. Terdapatnya pohon dengan akar yang mampu melapukkan sedimen menjadi lebih halus, membantu menahan lebih baik air tawar tidak merembes mengalir ke laut maupun bercampur dengan air asin di dasar lapisan endapan penutup. Lapukan sedimen di bagian tengah pulau oleh pohon (sukun, nangka, pace dll.), selain mengikat molekul air, juga memperkaya mineral terlarut pada air yang tersimpan pada sedimen. Ketebalan akuifer tanah dangkal pulau jenis ini sangat tergantung pada banyak hal, terutama pada berapa kuat gelombang pada tinggi variasi pasut tertentu telah menghasilkan ketebalan tertentu pasir karbonat teronggok di atas rata-ran terumbu.

Di kawasan Indonesia Barat, agitasi kuat gelombang saat musim barat ditandai sebagai penentu terbentuknya timbunan pasir karbonat, sementara di Indonesia Timur, agitasi gelombang saat musim tenggara yang lebih besar perannya.

Unsur dan mekanismenya yang mengendalikan sedimentasi klastik karbonat di Pulau Derawan tidak sederhana. Arus kuat dari utara bertemu



Gambar 7. Citra satelit TMS 7 memperlihatkan letak pulau dan sebaran rata-ran terumbu karang yang memperlihatkan arah pembentukan rata-ran ke selatan. Selat yang memisahkan rata-ran merupakan kelurusan struktur sesar.

dengan gelombang selatan saat musim tenggara mengaduk sedimen terputar di rata-ran dan teronggok di pantai bagian tenggara dan timur pulau. Bagian utara tergerus oleh gelombang musim barat, namun sebagian sedimen terangkut ke pantai sisi selatan dan diendapkan di depan lereng terumbu (Gambar 7). Pengangkutan sedimen ke arah selatan ini terganggu oleh tiang penopang bangunan pondok wisata yang semakin menjorok ke arah tubir karang (Gambar 1).

Kuatnya sedimentasi di bagian barat daya dan selatan pulau dapat dilihat dari gambaran sebaran sedimen dan air tawar hasil pengukuran tahanan jenis (Gambar 8 dan 9). Air tawar hanya mengisi bagian atas membentuk lensa dengan ketebalan air berkisar 4-5,5 m dengan kedalaman 1 m dari permukaan. Lensa air tawar mengapung di atas

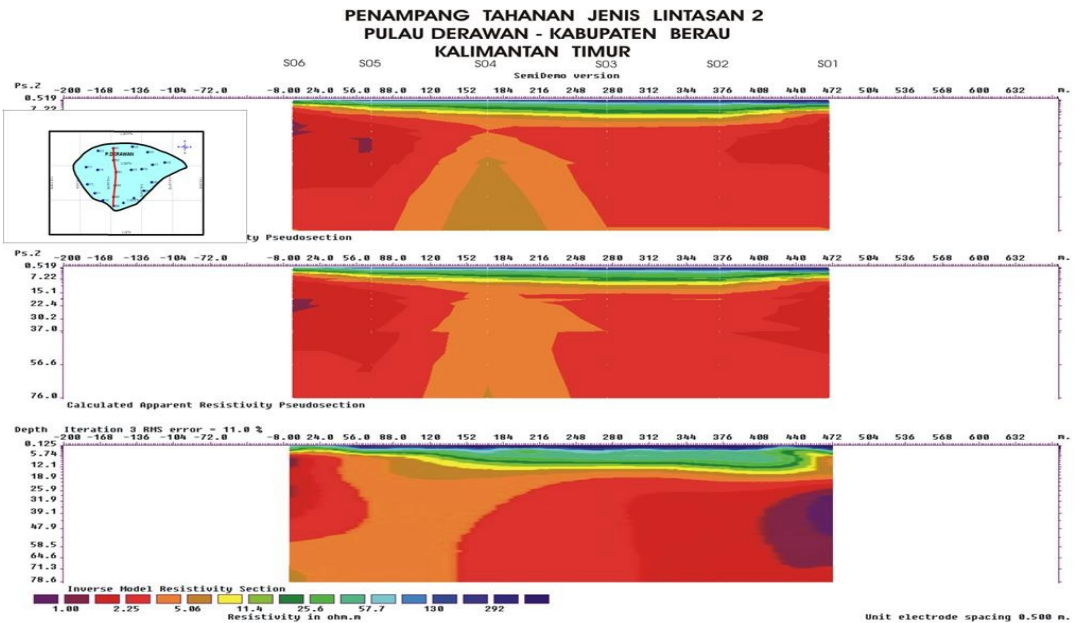
air asin, bergerak naik turun seiring gerakan pasang surut laut. Ketebalan maksimum terdapat pada bagian barat daya dan selatan pulau, menipis di bagian timur dan utara. Setelah kedalaman 6,5 dan 8 m, air tawar berangsur menjadi payau dan asin. Berdasar penafsiran tahanan jenis, air asin menjadi dominan setelah kedalaman 8 m, pada bagian mana sedimen ditandai oleh pasir kasar dan kerikil karbonat remah terumbu karang yang menutup bongkah sisa inti terumbu karang, yang diduga semula sebagai bagian inti atau "reef crest".

Sedimen pasir halus hingga sedang di Derawan menutup terutama di bagian timur dan tenggara sementara bagian utara lebih berupa sedimen pasir kasar mengandung kerikil hancuran terumbu karang. Bagian tepi daratan pulau, sebagai bagian yang relatif baru terbentuk, masih berupa sedimen segar belum mengalami pelapukan dan tersemen. Bagian Timur dan Timur Laut merupakan daerah rawa yang terisi endapan halus dan tertutup bakau serta nipah.

Bagian ini memiliki nilai tahanan jenis yang mencirikan kandungan air lebih payau.

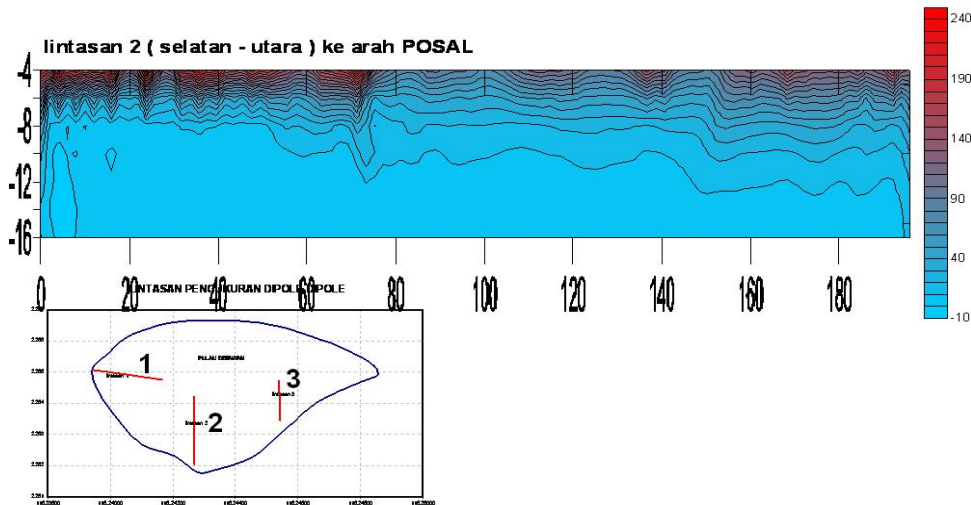
Status Pulau Kecil dan Derawan

Neraca sumber daya pulau kecil sekarang dan masa yang akan datang nampaknya semakin tergantung pada sejauh mana campur tangan manusia mengatur lingkungan pulau kecil. Berbagai upaya untuk mengolah lahan di pulau kecil terumbu karang dilakukan dari semula semata dipakai sebagai tempat singgah dan berlindung saat cuaca buruk selama pelayaran atau menangkap ikan dilaut, hingga dikembangkan sebagai pemukiman atau hunian wisata berikut kelengkapannya. Pulau delta dan tepian muara tidak lagi tersisa tumbuhan bakaunya, dirambah untuk kayu bakar atau habis dibongkar untuk tambak udang atau ikan bandeng. Pulau vulkanik atau yang terbentuk dari sisa tonjolan batuan terobosan dan batuan keras lainnya, memiliki pantai landai sempit yang padat rumah sehingga harus membuka lahan baru mengorbankan hutan bakau di sepanjang pantai.



Gambar 8. Penampang pengukuran tahanan jenis arah utara-selatan di Pulau Derawan (Metode Wenner).

**PENAMPANG TAHANAN JENIS METODA DIPOLE-DIPOLE
DAERAH PULAU DERAWAN KABUPATEN BERAU
KALIMANTAN TIMUR**



Gambar 9. Penampang tahanan jenis dipole-dipole lintasan 2 pulau Derawan-Kabupaten Berau, Kalimantan Timur (Metode Dipole-dipole).

Derawan dan Maratua (Gambar 2) merupakan jenis pulau kecil terumbu karang, bagian dari kompleks atol karang halang yang terbentuk di lepas perairan estuari Berau. Derawan terletak relatif dekat dengan daratan pulau utama sementara Maratua sebagai pulau terluar (Gambar 2). Beberapa pulau kecil lainnya tidak berpenghuni namun memiliki rataan terumbu karang luas dan masih memiliki sisa tutupan hutan lahan basah. Sejarah mencatat kedatangan suku pengembara yang singgah sementara atau terdampar dan tinggal menetap di pulau Maratua, pulau terluar berupa atol, maupun di Derawan. Semula membuka hutan di bagian pulau yang beralas pasir, kemudian berkembang menjadi pemukiman dari berbagai suku yang datang mencari peluang usaha jasa disekitar kehidupan nelayan. Untuk memperoleh lahan lebih luas dan akses mudah ke laut, rataan bakau dipangkas, pohon tanaman asli ditebang diganti tanaman kelapa dan pisang.

Daya tarik yang menyebabkan pesatnya pertumbuhan penduduk dari pendatang yang bergabung adalah melimpahnya biota laut, seperti penyu (*Chelonia midas*). Serta perairan

kompleks terumbu karang menawarkan kelimpahan biota (ikan, moluska, *holothuroidae*, dll) yang tidak hanya menjadi tangkapan, namun bersama dengan ekosistem terumbu karang menawarkan daya tarik lain sebagai obyek wisata laut. Peningkatan kegiatan sektor wisata di kawasan ini segera diikuti peningkatan jumlah penduduk.

Pulau kecil dan masalah daya dukung

Penghunian di Pulau Derawan diawali oleh kedatangan nelayan yang berlindung dari badai dan kemudian menetap. Air tawar terbatas digunakan untuk keperluan rumah tangga dan persediaan ketika melaut. Kompleks terumbu Derawan-Sangalaki-Kakaban dan Maratua dengan cepat terkenal setelah datanya dimuat pada buku kunjungan wisata. Dengan cepat pula terjadi peningkatan kunjungan wisata dari dalam dan luar negeri. Pondok wisata tumbuh dengan cepat dibangun sebagai rumah panggung di atas rataan terumbu. Pemakaian air tawar meningkat dan air tawar ini terbuang demikian saja ke laut setelah pemakaiannya. Cara lebih bijaksana untuk menambah daya tampung bagi pengunjung dilakukan dengan meningkatkan kualitas rumah

penduduk untuk lebih siap dan diminati pengunjung, setidaknya menambah penginapan yang telah ada namun dianggap belum cukup dayaampungnya.

Air tawar keperluan rumah tangga dan wisata selama ini diambil langsung sebagai air tanah dangkal dengan cara pemompaan langsung. Pemerintah daerah menawarkan kepada masyarakat dengan membangun sistem pengelolaan dan pembagian air tawar berupa menara bak air yang pompanya memakai energi (sel) matahari. Air tanah dangkal yang terkumpul di kolam dipompakan ke menara agar dapat tersebar secara gravitasi melalui jaringan pipa. Relatif mahalnya cara ini bagi masyarakat dibanding pemompaan langsung menyebabkan tidak ada yang berminat memakainya. Sarana ini memerlukan pengelolaan ketat agar tidak terjadi pengambilan dari air tanah dangkal secara berlebihan yang memicu terjadinya kekosongan pori yang kemudian diisi oleh air asin yang menerobos masuk mengisi akifer dangkal. Gejala ini sudah teramati di instalasi air tawar di Pulau Derawan dan Pulau Maratua. Gejala intrusi ini juga sudah terjadi, namun pada sumur penduduk yang terdapat di bagian dekat pantai.

Keberadaan air tawar di Pulau Derawan dimungkinkan oleh jenis batuan penyusun berupa endapan pasir karbonat remah terumbu karang. Lapisan pasir ini memiliki kesarangan yang memungkinkan air meteorik meresap. Sedimen ini memiliki ketebalan hingga 6,5 m, namun tidak merata di seluruh pulau. Hal ini dapat dilihat pada diagram hasil pemeruman tahanan jenis yang memberi gambaran tebalnya air tawar yang mengisi sedimen pasir ini. Dengan penduduk mencapai 800 jiwa (telah termasuk penghuni sementara non wisata), konsumsi normal harian air tawar adalah 80.000 l/hari. Sebagian besar limbahnya kembali ke dalam tanah. Konsumsi operator wisata untuk akomodasi dan pada kegiatan oleh raga air (selam, snorkeling, mancing) belum dapat dinyatakan dengan pasti, namun diduga lebih dari 200 liter/hari/orang. Sebagian besar dari air tawar terbuang ke laut, diduga mencapai 100 liter/orang. Bila diperkirakan rata-rata tamu mencapai 5 orang/hari (pesimistik) pada kunjungan minimum selama 250 hari dan

kunjungan maksimum sebanyak 50 orang/hari (pesimistik) kunjungan selama selama 100 hari, maka konsumsi 250.000 liter - 1.000.000 liter. Konsumsi total air tawar di Pulau Derawan selama satu tahun mencapai 29,73 juta liter. Dengan kemampuan pengisian sebesar 12 juta liter berdasar perkiraan pola curah hujan tahunan normal, neraca tahunan dengan rata-rata curah hujan tahunan adalah 1500 mm, maka pengisian total air tawar Derawan adalah 60 juta liter. Angka curah hujan tersebut dapat saja mengalami perubahan (ekstrem) berkurang hingga dibawah 1000 mm/tahun atau meningkat intensitasnya hingga memperbanyak air lebih yang tumpah keluar ke laut. Lolosnya air tawar yang tumpah ke laut saat intensitas dan curah hujan tinggi diperkirakan mencapai dan menguap langsung serta melalui tumbuhan diperkirakan 20%, maka neraca air tanah tersisa 15,27 juta liter. Angka ini sangat rentan perubahannya ketika terancam oleh kurangnya pengisian air meteorik yang dapat melorot dibawah 1000 mm/tahun curah hujan, konsumsi yang meningkat hingga 50% dalam 10 tahun. Perkiraan perubahan kunjungan wisata dan keluarga masih sulit dinyatakan dalam angka. Hal tersebut dapat berkurang atau bertambah tergantung beberapa aspek antara lain mobilitas masyarakat lokal dan kondisi pariwisata. Bila diambil angka optimistik 10% dalam 10 tahun untuk wisata dan kunjungan keluarga, maka konsumsi keseluruhan hanya berubah menjadi 32,8 juta liter. Ancaman yang jelas dalam hal ini adalah terjadinya pengurangan masukan air meteorik. Ketika memperhitungkan penipisan lensa air tanah oleh kenaikan muka air laut, kemudian lolosnya air tanah oleh terbukanya aquifer oleh abrasi, maka neraca diduga dapat berkurang sangat tajam menyangkut angka 35%. Pada kondisi ini hanya menyisakan 7,27 juta liter untuk 10 tahun ke depan.

Pulau Derawan dan kenaikan air laut global

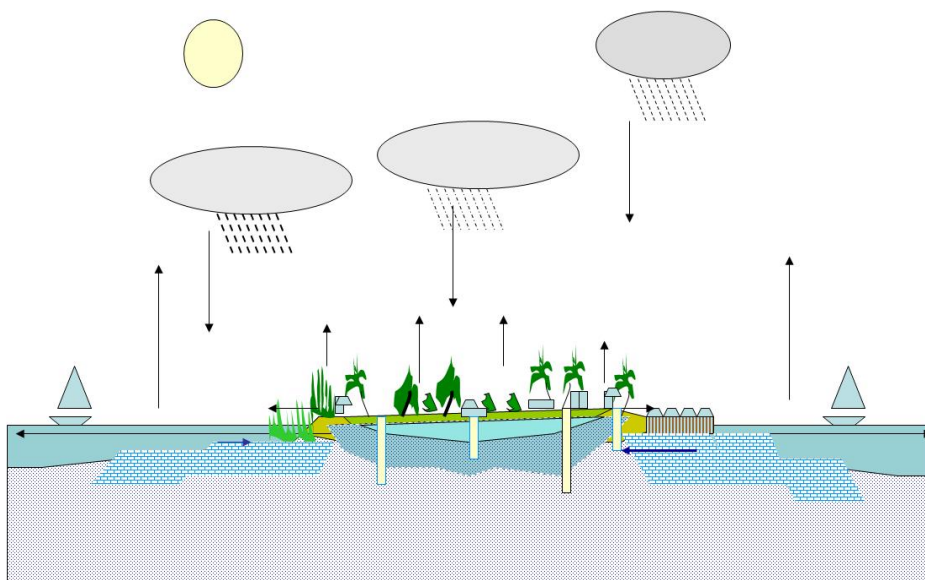
Pulau Derawan merupakan pulau terumbu karang dengan ukuran luas kurang dari 1 km² tumbuh di atas rata-rata terumbu (Gambar 1 dan Gambar 2), terbentuk belum lama dimulai dari tumbuhnya terumbu di atas endapan sedimen Kuartir seiring kenaikan muka laut setelah berakhirnya zaman es (Gambar 10).

Bahaya yang dihadapi pulau menyongsong kenaikan muka laut eustasi (IPCC, 2007) adalah ancaman kerusakan fisik langsung oleh abrasi dan penenggelaman pulau. Intrusi air laut merupakan ancaman berikutnya pada aquifer air tanah dangkal ketika bagian pantai yang tergerus terbuka oleh masuknya air asin pada saat pasang naik sedang tinggi.

Kerusakan bukan hanya pada fisik pulau, namun juga pada ekosistem perairan terumbu karangnya. Terumbu karang di bagian lereng depan yang mempunyai kecepatan tumbuh lebih rendah (2-4 mm/tahun) dari kecepatan kenaikan muka laut

terumbu karang untuk menjaga keseimbangan antara erosi dan sedimentasi yang menjaga kelestarian pulau dan bahkan membangun daratan baru. Akibat dari ketimpangan ini, kenaikan muka laut memberi dampak lebih jauh dengan percepatan erosi pantai pulau kecil.

Erosi dan abrasi sedimen pantai serta abstraksi berlebihan mengancam intrusi air laut yang mengurangi kualitas, namun juga volume total aquifer yang dapat diisi oleh air tawar meteorik. Hitungan lain yang perlu dilakukan adalah ketika terjadi gelombang besar, air asin terhempas masuk jauh ke darat, menggenangi pulau dan



Gambar 10. Diagram pulau kecil terumbu karang dengan huniannya.

(10 mm/tahun), akan mengalami penyesuaian pelambatan tumbuh hingga tergantikan oleh spesies baru karena berkurangnya intensitas cahaya yang diterima. Penyesuaian terjadi pada jenis yang lebih tahan hidup pada kedalaman yang memiliki kecepatan tumbuh lebih lambat. Jenis koral pejal menggantikan koral cabang, jenis koral yang memilih lingkungan dengan sinar matahari dan agitasi maksimum air laut. Koral muda juga memiliki kemampuan memulai tumbuh yang berbeda tergantung pada neraca sinar matahari, tekanan air, arus dan jenis substratnya. Berkurangnya jenis koral cabang sangat merugikan neraca sedimen di ekosistem

mendorong serta menggantikan lebih banyak air tawar dari pori.

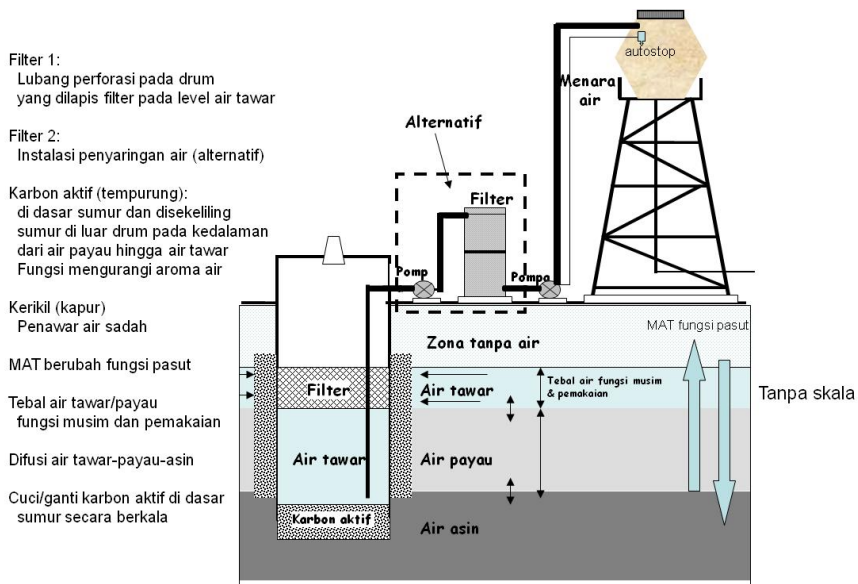
Peningkatan jumlah kunjungan wisata yang tidak diiringi penataan pengelolaan air tawar dapat dengan cepat menambah sumbangan defisit air tawar. Usaha yang pernah dilakukan untuk membuat industri pembibitan udang dengan memompakan air asin ke dalam tambak di pulau merupakan salah satu ancaman paling serius mempercepat pengurangan volume tampungan air tawar, atau dengan kata lain mengurangi volume lensa air tawar dengan sangat cepat dan dalam jumlah sangat besar di pulau Derawan.

Pengelolaan lestari air tawar di Derawan

Memperhatikan beberapa hal yang berkaitan dengan kondisi alam dan gejalanya seperti: geologi, neraca hidrologi Pulau Derawan, kecenderungan perkembangan lingkungan disekelilingnya berikut naiknya muka air laut serta masalah sosial kependudukan, maka perlu segera mencari cara yang tepat untuk mengelola air tawar di pulau Derawan. Model pengelolaan didasarkan pada beberapa hal antara lain adalah daya dukung alamiah dan rasionalisasi pemakaiannya. Pertimbangan juga didasarkan pada masalah dan ancaman yang dihadapi pulau kecil hingga 20 tahun ke depan.

pengurangan kesarangan namun meningkatkan tekanan turgor tanah agar tidak menguap dan mengalir keluar. Pemilihan jenis pohon yang tepat perlu dilakukan untuk menghindari dampak berlebihnya penguapan. Serta pohon sebaiknya juga merupakan pohon yang memberi nilai tambah hasil kayu, buah atau mungkin daunnya.

Guna memperoleh kualitas air tawar yang baik, perlu disosialisasikan teknologi sumur (Gambar 11) yang telah dikembangkan di beberapa pulau di Indonesia mengenai cara pengambilan air tawar dangkal yang mengambang di atas air asin tanpa merusak ketebalan lensa air tawar. Penjagaan kualitas air tanah dangkal juga perlu



Gambar 11. Diagram sumur optimalisasi air tawar pulau kecil

Berdasar daya dukung geohidrologinya, yang perlu dilakukan adalah mengendalikan air meteorik agar ketika muka air tanah melampaui garis ketinggian muka air laut, air tidak merembes keluar dan tertahan sebagai air tanah dangkal. Penanaman bagian tepi pantai dengan tumbuhan yang perakarannya menghasilkan

dilakukan dengan penerapan pengolahan limbah air tawar. Pencemaran dari septik tank dapat dicegah dengan menerapkan teknologi sederhana penampungan dan pengolahan. Dengan upaya demikian, air tawar di pulau kecil yang rentan ketersediaannya menjadi terlindungi kuantitas dan kualitasnya.

Pendekatan sosial kependudukan juga perlu dilakukan, dengan pemilihan isu tertentu yang paling tepat dikemukakan untuk memperbaiki anggapan dan perilaku cara pemakaian air yang menjadi lebih berwawasan lingkungan. Selain pengurangan konsumsi yang berlebihan, cara pemakaian sebaik mungkin air tawar dipulau juga perlu disosialisasikan kepada masyarakat.

KESIMPULAN

Hingga saat ini, kecenderungan kenaikan muka air laut merupakan suatu hal yang harus diwaspadai. Kecepatan gerak kenaikan relatif muka air laut terhadap daratan tergantung pada banyak hal antara lain dari kecepatan penambahan volume di satu sisi, sementara disisi lain dari gerak tegak daratan yang juga berbeda dari satu ke lain tempat.

Kompleks terumbu karang di perairan estuari Berau terbentuk sebagai bagian dari evolusi perairan yang melibatkan gejala tektonik (penurunan), arus perairan dan perubahan cuaca.

Air tawar pulau-pulau terumbu karang hanya berasal dari air meteorik, tertampung dan tersimpan pada lapisan tanah membentuk lensa air tanah dangkal yang volumenya tergantung dari jenis dan bentuk sedimen yang diisinya.

Neraca air tawar di Derawan dan pulau kecil lain khususnya pulau terumbu karang, rentan terhadap beberapa hal, antara lain: perubahan dan terjadinya cuaca ekstrem, penipisan lensa air tawar akibat kenaikan muka air laut dan pengelolaan berlebih untuk keperluan kegiatan manusia. Rasionalisasi pemakaian air harus segera dilakukan berdasar hitungan yang tepat daya dukung air, kondisi lingkungan pulau dan memasukkan unsur ancaman bahaya dampak kenaikan muka air laut.

Upaya perlindungan pantai pulau kecil dengan memulihkan/memperkuat biota pantai perairan di sekeliling pulau kecil estuari Berau selain mengurangi ancaman fisik, juga membantu menyelesaikan masalah lingkungan serta serapan gas rumah kaca.

Mengenai estuari, absennya delta di muara Berau merupakan akibat proses penurunan tepian sub cekungan Berau, namun juga dipengaruhi oleh dinamika lingkungan yang menyebabkan sedimentasi di muara tertunda ketika arus kuat dari utara membawa suspensi lebih jauh ke dan diendapkan dibagian selatan estuari.

DAFTAR PUSTAKA

- Faugeres, J.-C., Stow, D.A.V., Imbert, P., and Viana, A., 1999. *Seismic features diagnostic of contourite drifts*. Marine Geology, v. 162, p. 1-38.
- Hantoro, W.S., 1993. *Pleistocene sea level variations and global changes in Indonesia. Study of the uplifted coral reef terraces*. In: Preceedings of the Committe for Co-ordination of Joint Prospecting for Mineral Resources in Asian Offshore Areas (CCOP) Workshop XXX Session, November 9-13, 1993, Denpasar-Bali, Indonesia.
- Hantoro W.S., 1994. *The lost epicontinental platform in Indonesian Maritime Island during the glacial-interglacial cycles and changes of South East Asia-Australian Paleomonsoon System*. In: Proceedings of the International Geological Correlation Program, IGCP 349: Desert margins and Paleomonsoons of the Northern Hemisphere Old Worlds: 135,000 yrs BP to Present. August 14-23, 1994, Xian, China.
- Hantoro W.S., Faure H., Djuwansah R., Faure Denard L., Pirazzoli P.A., 1995. *The Sunda and Sahul continental platform: Lost land of the Last Glacial Continental*. In: S.E. Asia. Quaternary International. Vol 29-30, 1995, Pages 129-134.
- Hantoro W.S., Handayani L., Narulita I., Suprijanto D., 1996. *Tectonic and climatic influences to the spatial and temporal development of coral reef limestone in Indonesian Maritime Islands: Assessment on Quaternary coastal evolution*. In: Proceedings of Coral Reef Congress, July 1996, Panama.

- Hastenrath, S., 1994. *Climate Dynamics of the Tropics*. Atmospheric Sciences Library, Kluwer Academic Publisher.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007. The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Katili J.A., 1978. *Past and present geotectonic of Sulawesi, Indonesia*. Tectonophysics 45, 289-322.
- Latief M., Anderson D., Barnett T., Cane M., Kleeman R., Leetmaa A., O'Brien J., Rosati A., Schneider E., 1998. *A review of the predictability and prediction of ENSO*. J. Geophys. Res. 103 C7, 14375-14393
- Park. R and Hantoro WS. 2002. *Guide to Modern Carbonate Excursion in Seribu Island, Indonesian Petroleum Association*, March 2002, Jakarta-Indonesia.
- Sardjono, Soeprapto T.A., Hantoro W.S., Sulistyono B., Hardjawidjaksana, K., Wignjowinoto I., Murdohardono D., Setiawan J., 2007. *Atlas Pengelompokan Pulau Kecil Berdasarkan Tektonogenesis Untuk Perencanaan tata Ruang Darat, Laut dan Dirgantara Nasional*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber daya Mineral, 2007.
- Satyana A.H., Nugroho D., Surantoko I., 1999. *Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: major dissimilarities in adjoining basins*. Journal of Asian Earth Sciences 17, 99-122.
- Tomascik, T., Mah, A.J., Nontji, A. and Moosa, M.K. , 1997. *The Ecology of Indonesian Seas, Part I*. The Ecology of Indonesia Series, Volume VII. Periplus Editions, Singapore. 642 PP.