

# Perubahan Garis Pantai dan Susutan Darat: Cadangan Geoindikator Yang Berpotensi

ZAITUL ZAHIRA GHAZALI<sup>1</sup>, JOY J. PEREIRA<sup>1</sup> & JUHARI MAT AKHIR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Alam Sekitar dan Pembangunan (LESTARI), Universiti Kebangsaan Malaysia

<sup>2</sup>Program Geologi, Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam,  
Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia

## Abstrak

Pengurusan bersepadu zon pinggir pantai perlu dijalankan bagi mengatasi masalah persekitaran pinggir pantai yang sebahagian besar berkaitan dengan proses-proses geologi. Proses-proses geologi memainkan peranan penting dalam menyebabkan perubahan garis pantai dan susutan darat. Antara geoindikator yang dicadangkan bagi memantau perubahan garis pantai ialah perubahan aras laut, perubahan geomorfologi, perubahan tindakan fizikal dan perubahan guna tanah. Beberapa parameter telah dikenalpasti bagi geoindikator tersebut.

## Coastline Changes and Mass Wasting: Proposal of Potential Geoindicators

### Abstrak

Integrated coastal zone management is required to address coastal environmental problems, some of which are due to geological processes. Geological processes play an important role in effecting coastline changes and mass wasting along the coast. The geoindicators proposed to monitor these changes are categorised to reflect changes in sea level, geomorphology, physical processes and landuse. Several parameters have been identified for these geoindicators.

## PENGENALAN

Pembangunan mampan zon pinggir pantai merujuk kepada penggunaan sebaik-baiknya dan penjagaan sekitaran pantai yang dipinjam dari generasi masa hadapan. Konsep pembangunan mampan diperkenalkan hasil sikap prihatin masyarakat sejagat seperti yang telah termaktub dalam laporan *World Commission on Environment and Development* dikenali sebagai Laporan Brundtland atau *Our Common Future* (WCED, 1987). Pelancaran *United Nations Conference on Environment and Development* (UNCED) dikenali sebagai *Earth Summit* telah diadakan di Rio de Janeiro pada tahun 1992 sebagai langkah untuk membentuk kerjasama dalam menguruskan alam sekitar secara mampan.

Pembangunan mampan telah didefinisikan sebagai “pembangunan yang memenuhi permintaan masa kini tanpa mengabaikan keperluan generasi masa hadapan” (WCED, 1987) dan dinyatakan bahawa pembangunan ekonomi dan sekitaran yang dinamik bukan merupakan matlamat muktamad. Petunjuk kepada pembangunan mampan memepunyai perkaitan dengan konsep keperluan dan ketetapan kuasa sekitaran. Pembangunan mampan merupakan proses perubahan yang merangkumi sumber, halatuju pelaburan, matlamat pembangunan teknologi dan perubahan institusi ke arah yang lebih harmoni bertujuan meningkatkan potensi keperluan manusia dan aspirasi manusia terkini dan masa hadapan (WCED, 1987).

Berger (1996), menyatakan bagi mencapai tahap pembangunan mampan yang berjaya memenuhi objektif sekitaran dan polisi pantai, adalah penting disusun strategi seperti pemuliharaan dan peningkatan taraf sekitaran pantai, pengurusan risiko dan kesensitifan pantai serta menyeimbangkan keperluan pembangunan sekitaran pantai dengan kepentingan ekonomi di dalam membuat keputusan.

Persidangan yang dikendalikan oleh UNESCO untuk membincangkan *Coastal System Studies and Sustainable Development* telah menyatakan bahawa pembangunan sektor perindustrian moden disertai dengan pertumbuhan populasi merupakan impak terhadap sekitaran pantai dan degradasi secara eksploitasi sumber yang melampau, pencemaran oleh pelbagai jenis bahan dan gangguan terhadap zon litoral, kesan pemanasan sejagat dan faktor-faktor lain. Perkembangan perindustrian bercorak moden telah menimbulkan masalah dan secara langsung memberi kesan terhadap zon pinggir pantai.

Keperluan program pembangunan mampan telah diberi sokongan penuh oleh UNCED semasa *Earth Summit* pada tahun 1992 dan sebahagiannya turut membincangkan impak terhadap sekitaran pantai sehingga termeterainya empat perjanjian utama iaitu Deklarasi Alam Sekitar dan Pembangunan Rio, Kerangkakerja Konvensyen Perubahan Iklim, Konvensyen Kepelbagaian Biologi dan Agenda 21. Deklarasi Alam Sekitar dan Pembangunan Rio mengandungi 27 prinsip berhubung tindakan masyarakat antarabangsa terhadap pembangunan dan alam sekitar serta

menyeru semua negara untuk bekerjasama bagi mencapai pembangunan mampan. Kerangkakerja Konvensyen Perubahan Iklim memfokuskan aktiviti-aktiviti bagi mengurangkan masalah pembebasan gas dari rumah hijau dan telah menyatakan dengan spesifik program berskala rantau bertujuan mengurangkan dampak perubahan iklim serta keperluan menggabungkan kesemuanya dalam bentuk polisi dan rancangan tindakan. Perancangan ini berkait terus dengan pemampunan zon pantai terutamanya yang berkaitan dengan penafsiran kenaikan aras laut akibat kesan rumah hijau.

Konvensyen Kepelbagaian Biologi menekankan kesan pertambahan populasi manusia dan pembangunan terhadap ekosistem dan kemampunan ekosistem pantai daripada aspek kepelbagaian spesies dan genetik. Agenda 21 merupakan 800 halaman pelan tindakan kompleks untuk abad 21 menjurus kepada pembangunan dan persekitaran secara menyeluruh yang mengandungi rujukan bagi penggunaan sumber lautan dan zon pinggir pantai secara mampan. Sebagai tindakan susulan, *Commission on Sustainable Development* telah ditubuhkan oleh United Nations.

Perkembangan ini menunjukkan telah bermulanya usaha proaktif bagi memastikan pembangunan di setiap negara dilakukan secara mampan. Perancangan bagi memajukan zon pinggir pantai juga tidak sewajarnya diabaikan. Walaupun telah wujud pelbagai usaha dan kaedah yang diaplikasikan dalam menguruskan zon pinggir pantai, namun pembangunan geoindikator juga mempunyai keupayaan dan kelebihan tersendiri yang wajar diberi sokongan dan ruang agar dapat menyumbangkan maklumat ke dalam sistem pengurusanannya.

## PENGURUSAN ZON PINGGIR PANTAI

Pengurusan Bersepadu Zon Pantai (*Integrated Coastal Zone Management - ICZM*) di Malaysia telah mula dipraktikkan di negeri Pulau Pinang, Sabah dan Sarawak. Berdasarkan laporan kerjasama EPU dan DANCED (1999), Pengurusan Bersepadu Zon Pantai didefinisikan oleh Bank Dunia sebagai proses penguatkuasaan dan merangkumi keperluan kerangkakerja institusi dan perundangan bagi memastikan pelan pembangunan dan pengurusan zon pantai diintegrasikan dalam mencapai matlamat pengurusan alam sekitar.

Memandangkan idea ICZM merupakan perkara yang masih baru diperkenalkan di kebanyakan institusi dan agensi kerajaan di Malaysia, maka, jabatan-jabatan kerajaan yang terlibat masih berada ditahap cuba memperbaiki dan memperkemaskan definisi pengurusan zon pantai. Sebagai jalan pintas, idea bernas yang lebih mantap dapat dihasilkan apabila dijalankan kerjasama di antara agensi kerajaan. Maka, sebelum diwujudkan kerjasama bagi pengurusan zon pantai, keperluan meminda paradigma di antara agensi kerajaan adalah amat perlu dilakukan.

Di peringkat negeri pula, institusi yang berkaitan perlu membangunkan matlamat, berkongsi kefahaman terhadap

isu yang timbul serta mengamalkan pendekatan dan proses-proses koordinasi bagi menangani masalah melibatkan pengurusan sumber dan pencemaran zon pantai. Semasa proses mengimplementasi polisi pengurusan zon pantai di peringkat negeri, akan wujud cabaran-cabaran yang perlu ditangani dengan mengambil bahagian di setiap peringkat dalam proses merangka polisi. Sebagai asas, pengalaman dari ketiga-tiga negeri yang telah memulakan ICZM boleh dijadikan panduan dalam merangka polisi pengurusan zon pinggir pantai.

Masalah yang timbul di kawasan pinggir pantai merangkumi perubahan garis pesisir dan susutan darat. Kewujudan masalah adalah berpunca daripada ketidakseimbangan sistem pinggir pantai kesan daripada aktiviti manusia yang mengganggu evolusi pinggir pantai. Beberapa proses yang terlibat dalam perkembangan sistem pinggir pantai yang memberi kesan terhadap perkembangan garis pantai ditunjukkan dalam Rajah 1.

Berdasarkan Sharifah Mastura (1992a), hakisan pantai merupakan salah satu masalah yang wujud di perairan Malaysia. Tahap hakisan telah dikelaskan seperti di dalam Jadual 1. Laporan *National Coastal Erosion Study* (Jabatan Perdana Menteri, 1985) melaporkan bahawa hakisan pantai memberi kesan negatif kepada setiap negeri di Malaysia. Antara kawasan yang mengalami hakisan kritikal di Selangor ialah Kg. Baharu – Jeram – Sg. Sembilan, Batu Laut – Tg. Tumbuk dan Sg. Sepang Kecil – Sg. Sepang. Sharifah Mastura (1992b) melaporkan bahawa beberapa kawasan di sepanjang pantai Lembangan Langat mengalami hakisan pantai; meliputi Kg. Batu Laut, Tg. Sepat Pekan, Tumbuk Laut, Tg. Rhu dan Bagan Lalang.

Di samping itu, masalah lain yang berkaitan dengan perubahan garis pesisir ialah perubahan aras laut. Tjia (1989), meramalkan penurunan aras laut di Malaysia dan seluruh Asia Tenggara berdasarkan analisis radiometri ke atas 150 penunjuk garis pantai. Kadar penurunan dianggarkan berlaku antara 1.5 – 2.0 mm per tahun.

Berdasarkan Curray (1964), kebanyakan sedimen kuno mewakili sekitaran pengendapan yang berhampiran dengan garis pesisir. Kajian paleogeografi, sumber bekalan, sekitaran dan mekanisma pengendapan sedimen kuno adalah penting bagi memahami proses-proses yang berlaku pada masa sekarang. Kajian dan penemuan bukti perubahan garis pantai pada Kuartener akan meningkatkan kebarangkalian bagi memahami pembentukan dan perkembangan garis pantai semasa iaitu sebahagian dari warisan zaman lampau.

## Aplikasi Geoindikator dalam Pengurusan Pinggir Pantai

Sebagai alternatif bagi melihat perubahan garis pantai adalah dengan memperkenalkan geoindikator dalam pengurusan zon pinggir pantai di Malaysia. Projek Penilaian Geoindikator telah diperkenalkan oleh pengkaji dari Universiti Duke bertujuan menilai kualiti sekitaran pantai di bawah Program Pembangunan Garis Pantai (Young *et al.* 1996). Apabila projek geoindikator dilancarkan pada tahun 1993, pelbagai kemajuan telah dicapai (Woodley *et*

al. 1993, Bakkes *et al.* 1994, Hammond *et al.* 1995) dan pelbagai format diperkenal bagi indikator yang berkaitan dengan ekosistem dan interaksi manusia terhadapnya (Hodge 1996).

Geoindikator merupakan pengukuran proses geologi dan fenomena yang berlaku di permukaan atau hampir dengan permukaan bagi tempoh masa kurang dari 100 tahun dan ia menyediakan maklumat yang berguna bagi penilaian alam sekitar (Berger, 1996). Parameter pengukurannya meliputi frekuensi, magnitud, kadar dan arah proses-proses geologi.

Geoindikator digunakan bagi mengukur kedua-dua peristiwa katastrofi dan peristiwa pasif yang kerap berlaku dalam julat hayat manusia. Definasi ini menekankan aspek yang merangkumi proses-proses geologi seperti aliran sungai, hakisan dan sedimentasi. Kebanyakan geoindikator berkaitan dengan perubahan landskap (0.1 – 10 km) dan mesoskala (10 – 100 km) dan juga berskala rantau. Ia menyumbang ke arah peningkatan pemahaman terhadap kedinamikan sifat persekitaran terestrial yang meliputi pemantauan hidrologi, meteorologi dan biologi. Geoindikator membantu mengukur integriti, kesihatan dan kemampuan alam sekitar dengan meningkatkan kepentingan pemahaman perubahan alam sekitar dan membantu penilaiannya oleh manusia.

## PROSES-PROSES GEOLOGI YANG MENGAWAL GARIS PANTAI

Garis pantai ditakrifkan sebagai garis purata bagi tahap pasang surut dan sebagai sempadan memisahkan antara permukaan daratan dengan permukaan lautan atau jasad air yang luas.

Jamaludin Md. Jahi (1982), mendefinisikan garis pesisir sebagai garisan interaksi yang dinamik antara daratan dan lautan. Bagi memahami sepenuhnya proses-proses daripada tindakbalas yang berlaku di zon pinggir pantai adalah dengan mengkaji dan melihat semula peristiwa masa terdahulu terutamanya zaman Kuarterner. Garis pantai sekarang terbentuk daripada kejadian proses-proses yang berlaku bagi jangka masa tertentu di zaman silam. Migrasi garis pantai yang berlaku secara mengufuk merupakan tindakbalas bagi mengimbangi faktor arah dan kadar perubahan air laut dan kadar pengendapan.

Perubahan garis pantai mempunyai kesinambungan dengan proses-proses yang berlaku di zon pesisir pantai.

Perubahannya dipengaruhi oleh proses-proses yang berlaku secara tempatan dan sejagat. Faktor setempat merangkumi proses angkutan, pengendapan, hakisan dan perubahan aras laut. Faktor sejagat yang mempengaruhi perubahan garis pantai adalah berhubung rapat dengan perubahan kenaikan aras laut.

Menurut Tjia (1990), perubahan aras air laut dipengaruhi oleh faktor seperti perubahan isipadu jasad air, perubahan isipadu lembangan laut, perubahan geoid, aktiviti manusia serta kesan rumah hijau. Parameter ketumpatan jasad air terdiri daripada glasier, terma dan kewujudan kandungan air dalam liang-liang batuan. Ketumpatan lembangan lautan dikawal oleh isostasi, epirogenesis, orogenesis, sedimentasi, organisma, volkanisma dan peristiwa pengendapan.

Kesan rumah hijau dibuktikan dengan berlakunya pemanasan sejagat. Peningkatan suhu sebanyak 1.5°C akan mengakibatkan peningkatan aras laut sebanyak 20cm dan diramalkan pada tahun 2025 permukaan air laut akan mula menutupi zon pinggir pantai yang rendah. Di samping itu, kadar penurunan hujan juga akan bertambah. Titus (1986) juga menyatakan bahawa pertambahan suhu juga akan memberi kesan pada kitar hidrologi iaitu pertambahan air hujan. Walau bagaimanapun, laporan *US Environment Protection Agency*, kesan dari rumah hijau pada masa hadapan adalah masih lambat (Bird, 1988).

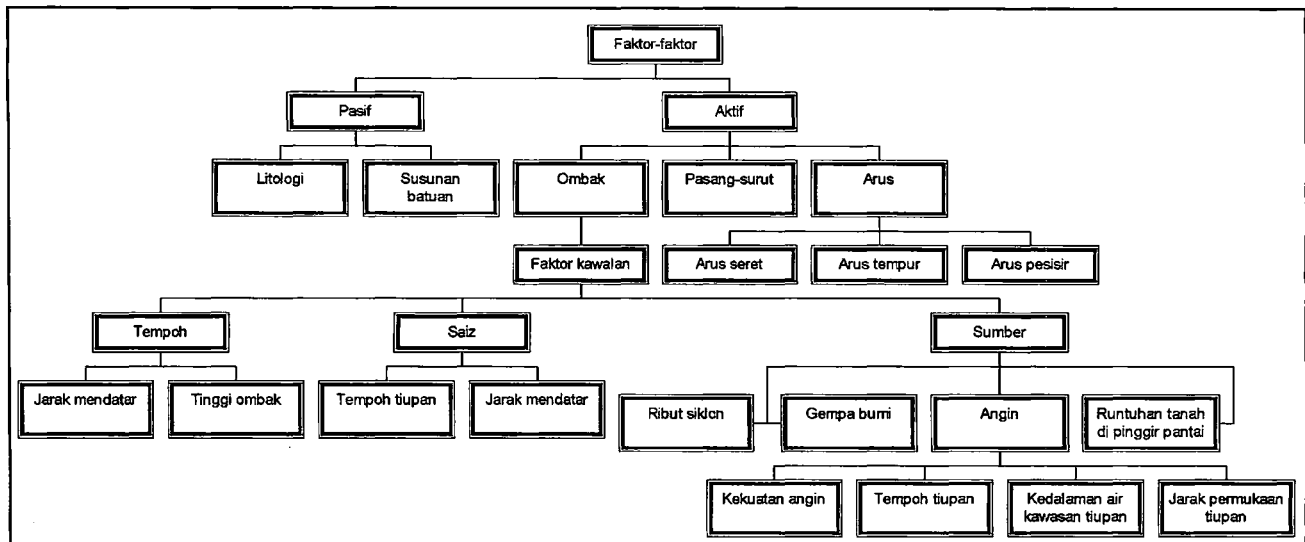
Jamaluddin Md. Jahi (1989), menyatakan tiga proses utama di kawasan pinggir pantai iaitu hakisan, pengangkutan dan pengendapan yang mengawal geomorfologi pantai daripada aspek profil dan pelan. Pinggir pantai merangkumi unjuran dari pantai hingga tebing tinggi dan pelantar pesisir. Pantai terdiri daripada bahan peroi yang mudah mengalami hakisan, pengangkutan dan pengendapan. Tebing tinggi dan pelantar pesisir terdiri daripada batuan pejal yang sebahagiannya mengalami proses hakisan.

Walaupun bagaimanapun, perubahan profil tebing tinggi dan pesisir hanya dapat dilihat bagi suatu tempoh yang panjang berbanding perubahan kawasan pantai yang amat mudah memperlihatkan perubahan. Pembentukan kedua-dua topografi tebing tinggi dan pelantar pesisir dikawal oleh tindakan air laut atau pergerakan ombak yang memindahkan bahan angkutan dalam jumlah yang besar.

Pelantar pesisir turut mengalami proses yang sama serta mengalami pengunduran tebing tinggi bagi jangka masa yang panjang. Tetapi hakisan pada tebing tinggi hanya berlaku pada kawasan-kawasan tertentu yang mengalami

Jadual 1: Menunjukkan pengelasan bagi kategori hakisan (Sharifah Mastura, 1992).

Kategori pertama	Kategori kedua	Kategori tiga
<b>Hakisan kritikal</b> yang meliputi kawasan berkepentingan daripada aspek ekonomi, pertanian, pengangkutan, rekreasi, penilaian demografi dan struktur. Tindakan bagi melindungi dan mengatasi masalah hakisan perlu diberi perhatian serius.	Hakisan di kawasan yang menunjukkan proses <b>hakisan kurang kritikal</b> tetapi penilaian kadar hakisan yang kerap perlu dijalankan.	Kawasan dengan kadar <b>hakisan masih rendah</b> dan tidak memberi kesan terhadap aspek ekonomi, pertanian, pengangkutan, rekreasi, penilaian demografi dan struktur. Walau bagaimanapun, masalah hakisan diramalkan boleh bertambah bagi tempoh 10 hingga 15 tahun akan datang.



Rajah 1: Faktor-faktor yang mengawal evolusi pinggir pantai.

ribut petir. Dikebanyakan kawasan pinggir pantai, tebing tingginya terdiri daripada bahan pejal dan gabungan beberapa proses disertai tindakan ombak yang menghakisnya.

Pemecahan batuan oleh ombak mengakibatkan partikel bahan tercabut dari tempat asalnya. Partikel berkenaan mungkin merupakan blok-blok batuan yang mempunyai retakan. Tindakan ombak ini mengakibatkan tekanan yang kuat secara langsung apabila ombak pecah pada tebing tinggi. Semasa pemecahan ombak, udara yang terkandung dalam retakan pada batuan akan tertekan. Pada tahap tertentu, tekanan udara yang sama kuat dengan tekanan ombak akan mengakibatkan batuan pecah dan berkecai. Perulangan proses ini menjadikan retakan semakin besar terutamanya pada tebing tinggi yang mempunyai banyak retakan. Keberkesanan pemecahan oleh ombak bergantung kepada jenis batuan dan perbezaan rejim ombak.

Shahrizaila Abdullah (1992), menjelaskan pesisir pantai di Malaysia terbahagi kepada hutan paya bakau dan pantai berpasir. Faktor-faktor tabii yang terlibat dalam hakisan pantai ialah kuasa ombak. Apabila ombak bergerak mengarah ke pantai, ketinggian ombak akan bertambah dan pergerakannya akan menjadi semakin laju pada kedalaman cetek. Semasa pergerakannya, ombak mulai kehilangan kestabilan secara beransur-ansur dan pada kedalaman air tertentu, ia akan pecah.

### Kuasaan ombak

Tindakan ombak merupakan proses tabii. Apabila ombak bergerak ke arah pantai di sepanjang permukaan air yang semakin cetek, ia akan mengalami pertambahan ketinggian. Pada kedalaman tertentu, ombak ini akan kehilangan kestabilan dan pecah. Ombak yang pecah ini akan menghasil ekor ombak balik dan bergerak semula ke arah lautan. Ekor ombak balik ini akan mengangkut semula sedimen di pantai ke lautan. Disebabkan amplitud gelombang set ombak yang baru di bahagian belakang

ombak yang pecah adalah berbeza-beza, maka, zon di mana berlakunya pemecahan ombak di kenali sebagai zon ombak pecah.

Zon ombak pecah merupakan zon pembentukan arus tempatan. Pembentukan arus ini terjana daripada pemindahan tenaga oleh ombak yang pecah. Di zon ini, proses angkutan sedimen oleh ombak kemudiannya diambil alih oleh arus tempatan. Arus tempatan yang dihasilkan akan mengangkut sedimen bersamanya ke pantai. Walau bagaimanapun, keluasan zon ombak pecah ini juga dipengaruhi oleh kejadian ribut petir. Selepas ribut petir berlaku, keluasan zon ombak pecah akan bertambah sehingga mencapai ratusan meter persegi.

Akibat tindakan angkutan yang tolak-menolak oleh ombak dan arus tempatan, sedimen pantai ini menghasilkan corak pergerakan secara zig-zag. Sedimen yang diangkut oleh arus tempatan ke arah zon ombak pecah lazimnya akan membentuk gumuk pasir. Gumuk pasir ini akan mengalami pertambahan saiz dan menyebabkan hanya ombak yang bersaiz besar sahaja yang akan mengalami pemecahan di situ.

### Sedimentasi

Sedimen sering diangkut di zon ombak pecah dan di sepanjang pantai. Angkutan sedimen di sepanjang pantai di Malaysia merupakan proses utama dalam pergerakan sedimen. Secara umum, angkutan sedimen di sepanjang pesisir akan mengurangkan keupayaan pergerakan arus tempatan di sepanjang pantai yang mengakibatkan pergerakan ombak yang relatif selari terhadap orientasi garis pesisir.

Di pesisir pantai, sedimen bergerak berterusan di sepanjang pantai. Apabila kadar keluar-masuk sedimen pantai adalah hampir sama atau sama, maka, pantai dikatakan telah mencapai keseimbangan. Tetapi hakisan sedimen pantai akan berlaku apabila julat angkutan sedimen keluar adalah lebih besar berbanding jumlah yang diendapkan.

Pertukaran sedimen yang berlaku antara pantai dan antara zon pesisir – zon lepas pesisir adalah secara berterusan dan langsung melengkapkan kitar hakisan dan pembentukan pantai (akresi). Lazimnya hakisan pantai dipengaruhi oleh formasi batuan di sepanjang pesisir pantai.

### Ribut

Hakisan akan bertambah apabila berlaku kenaikan aras laut kesan peristiwa ribut petir. Pertambahan set ombak pecah akan membawa lebih banyak sedimen dari zon lepas pesisir mengarah ke pantai. Walaupun sebahagian sedimen yang diangkut ke pantai akan diangkut semula ke tengah laut, kuantiti sedimen yang diangkut adalah lebih sedikit berbanding yang diendapkan selepas kejadian ribut. Maka, ia akan menggalakkan kejadian hakisan.

### Aktiviti manusia

Aktiviti manusia juga boleh mengakibatkan hakisan. Perancangan sistem binaan yang buruk mengancam proses angkutan sedimen di sepanjang pesisir dan mengakibatkan ketidakseimbangan angkutan sedimen. Struktur binaan *seawall* dan *revetments* menghalang pembekalan sedimen ke pesisir pantai. *Groins*, *pier* dan *breakwater* secara fizikalnya menghalang pergerakan sedimen di sepanjang pesisir dan mengakibatkan akresi dan hakisan. *Seawall* dan struktur garis pesisir memantulkan tenaga ombak akan mengakibatkan hakisan di pantai. Maka, perancangan pembinaan struktur di kawasan pantai yang tidak teratur tanpa mengambilkira impak terhadap pantai akan menggalakkan lagi kemusnahan pantai.

## SUSUTAN DARAT DI PESISIR PANTAI

Susutan darat merupakan suatu proses pemecahan dan pemindahan bahan geologi di bawah pengaruh angin, pergerakan arus laut, tindakan ombak dan daya tarikan graviti oleh bulan-matahari yang mengakibatkan perataan terhadap topografi di pesisir.

Tjia (1987) menjelaskan faktor kawalan susutan darat secara umum (Rajah 2). Beliau turut menyentuh proses-proses yang membantu susutan darat di pesisir pantai antaranya pembasahan dan pengeringan, penyeretan butiran batuan dan pemukulan terhadap batuan di pinggir pantai oleh air laut, luluhawa dan hakisan.

Berdasarkan Tjia (1987), semakin mengarah ke pantai, permukaan dasar laut semakin cetek berbanding ke arah dalam laut. Maka, pergerakan ombak yang menghala ke daratan akan menjadi semakin laju dan ketinggian ombak semakin bertambah di mana kestabilan ombak semakin berkurangan dan akhirnya menjadi pecah. Zon di mana ombak mengalami pemecahan dikenali sebagai zon layar. Gelombang pecah ini terhempas ke tepi laut yang dikenali sebagai ekor ombak dan apabila hempasan air tersebut mengalir kembali ke laut, ia dikenali sebagai ekor ombak balik.

Penghempasan ombak laut terhadap batuan mengakibatkan topografi batuan di pantai mengalami

penyerpihan, perenggangan serta penghanyutan batuan. Permukaan bumi yang mengalami proses-proses ini yang pada asalnya tinggi akan menjadi rendah. Batuan dipecahkan secara perlahan-lahan dalam tempoh yang lama sehingga akhirnya ia menjadi butiran yang kecil dan akhirnya diangkut ke kawasan yang baru. Butiran pasir ini seperti ditolak ke sana ke mari apabila ia diangkut ke arah lautan dan kemudiannya diendapkan semula di tepi pantai.

### Pembasahan dan pengeringan

Pembasahan dan pengeringan merupakan proses berulang yang mengakibatkan pengekar dan penyusutan mineral lempung, pembentukan atau pemusnahan selaput air pada zarah mineral serta perubahan isipadu batuan. Selepas pembasahan permukaan batuan oleh air laut, akan berlaku penyejatan yang menghasilkan hablur-hablur garam. Pada masa yang sama, batuan akan mengalami terikan sehingga pada masa tertentu butiran akan terlepas daripada batuan induknya. Proses pembebasan butiran ini dikenali sebagai pengelupasan batuan.

### Penyeretan dan pemukulan air laut

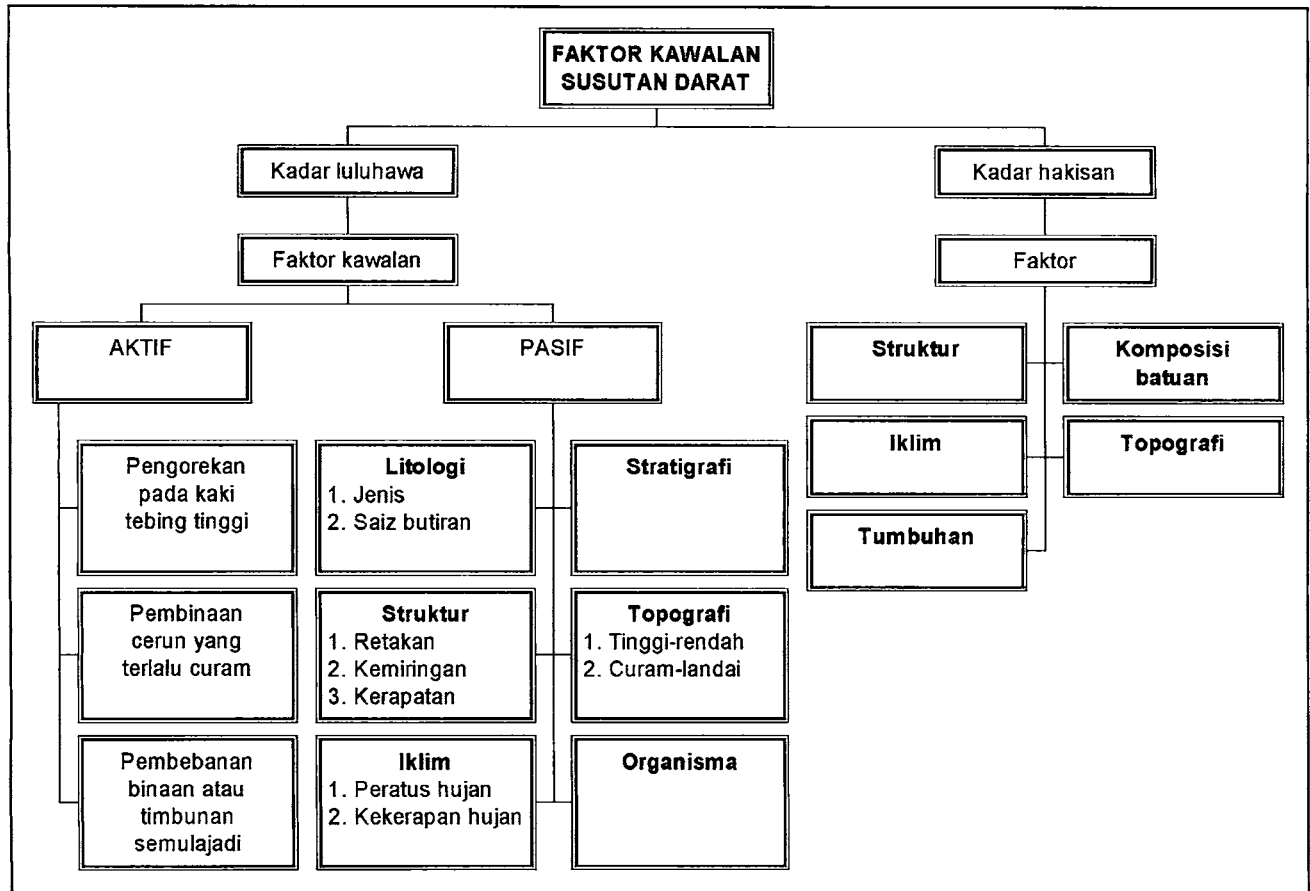
Tindakan penyeretan dan pemukulan air laut terhadap batuan merupakan suatu proses hidraulik. Proses ini menyebabkan perenggangan rekahan batuan seterusnya rekahan tersebut akan terserpih. Serpihan dari batuan induk akan menjadi saiz yang lebih kecil sehinggalah ia membentuk tanah-tanah. Serpihan bahan-bahan tadi kemudiannya akan dihanyutkan oleh air laut ke tempat lain. Secara langsung bahan-bahan hanyutan ini menjadi agen penghakis akibat perlanggaran antara satu sama lain dan terhadap batuan di pesisir.

### Luluhawa

Berdasarkan Tjia (1987), luluhawa turut membantu susutan darat. Kesan proses luluhawa akan melemah, menghancurkan dan mereputkan batuan dasar. Penghancuran dan pereputan batuan keras oleh luluhawa memudahkan tindakan hakisan oleh air, angin dan ombak ke atasnya.

Tindakan luluhawa fizikal dan kimia yang berlaku di permukaan bumi menghancurkan dan melembutkan batuan segar. Bahan bumi yang telah terluluhawa akan menjadi lebih mudah untuk diproses. Hakisan ini menyebabkan permukaan bumi akan menjadi rendah secara beransur-ansur. Faktor-faktor yang mengawal susutan darat adalah seperti Jadual 2.

Luluhawa yang berlaku di pantai merupakan gabungan luluhawa fizikal, kimia dan biokimia yang menukar batuan segar yang terdedah kepada cuaca menjadi batuan reput dan tanah-tanah peroi. Contoh luluhawa fizikal ialah pengembangan dan pengecutan kerana tambahan isipadu terhablur yang dikenali sebagai eksudasi. Eksudasi mengakibatkan penghabluran garam daripada air laut yang meresap ke dalam batuan berliang. Terikan daripada penghabluran dalam batuan bertindak melemahkan ikatan antara butiran batuan seterusnya menghuraikan batuan.



Rajah 2: Menunjukkan faktor-faktor kawalan ke atas susutan darat (Jamaluddin Md. Jahi, 1989).

Luluhawa kimia diwakili oleh tindakan pembasahan yang merupakan suatu fenomena penyerapan molekul air ke dalam sistem hablur. Pada masa yang sama, proses terikan dan tegasan yang berlaku pada batuan mengakibatkan pertambahan terhadap isipadu mineral dan keluasan spesifik permukaan butiran. Perubahan ini menghasilkan suatu mineral yang lebih stabil.

Luluhawa aras air merangkumi keseluruhan proses luluhawa yang berlaku apabila batuan mengalami pembasahan dan pengeringan oleh air laut. Proses ini bertindak pada batuan tebing tinggi akibat tindakan ombak yang meluru dan kesan percikan air. Proses ini berlaku di bahagian bawah tebing tinggi mengakibatkan pembentukan takikan. Sekiranya percikan air turut berlaku pada permukaan tebing tinggi secara menyeluruh, takikan tidak terbentuk.

Proses pembasahan dan pengeringan yang berulang oleh air laut mewujudkan beberapa proses luluhawa yang kompleks. Seseengah proses luluhawa merupakan jenis mekanik seperti penghabluran garam; kebanyakannya hasil tindakbalas kimia antara batuan dengan air laut yang sampai ke situ. Zon tindakan luluhawa berada antara paras paling tinggi yang dapat dicapai oleh percikan laut hingga aras tempat batuan sentiasa berada dalam keadaan basah. Luluhawa aras air ini dapat menghasilkan pelantar yang

licin dan mendatar yang lazim terdapat di tikas air pasang. Kesan tindakan luluhawa aras air dikawal oleh jenis, struktur, sudut kemiringan batuan dan iklim.

## KEPENTINGAN GEOINDIKATOR BAGI PENGURUSAN ZON PINGGIR PANTAI

Pembangunan geoinдикator perubahan garis pantai dan susutan darat bertujuan untuk mengintegrasikan perubahan semulajadi dalam pemantauan persekitaran zon pinggir pantai. Daripada pengumpulan maklumat dan analisis, pangkalan data maklumat dibangunkan bagi memudahkan penilaian pengurusan ekosistem ke arah kemampuan zon pinggir pantai. Pemetaan kawasan berpotensi mengalami perubahan garis pantai dan susutan darat di pesisir, dapat membantu pihak perancang dan pengurus sekitar menguruskan pembangunan zon pesisir pantai secara lebih wajar dengan mengambil kira faktor-faktor persekitaran dan keselamatan pengguna.

Selain itu, geoinдикator juga dijangka akan dapat diaplikasikan dalam program pemantauan zon pinggir pantai bagi tempoh jangka panjang. Dengan demikian, ia akan menggalakkan pengembangan integrasi multidisiplin, sebagai contoh gabungan bidang geologi dan biologi, dengan mengambil kira semua komponen penting alam sekitar.

Jadual 2 : Menunjukkan peranan faktor-faktor yang memberi kesan terhadap proses susutan darat.

Faktor	Kesan
Litologi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bahan yang mudah diresapi air adalah lebih peka terhadap susutan darat (bahan ini lazimnya mudah terhurai dan terluluhawa).</li> <li>Kehadiran mineral yang kurang stabil juga akan melemahkan batuan.</li> </ul>
Struktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lapisan dan kekar yang miring sehala terhadap cerun akan menggalakkan berlakunya gelinciran.</li> <li>Perselangan batuan kuat-lemah adalah lebih peka terhadap susutan darat berbanding batuan yang hanya terdiri daripada batuan kuat.</li> <li>Kerapatan retakan dalam batuan akan meninggikan lagi keupayaan penguraian batuan apabila proses-proses eksogen dan luluhawa bertindak.</li> </ul>
Topografi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risiko susutan darat juga akan bertambah sekiranya berlaku penukaran kemiringan cerun secara tiba-tiba.</li> <li>Berlakunya kenaikan paras air dengan pantas akibat pengempangan semulajadi atau buatan manusia.</li> </ul>
Iklim	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jumlah hujan yang tinggi merupakan faktor yang menggalakkan proses susutan darat.</li> </ul>
Organisma	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktiviti-aktiviti manusia/haiwan yang mengakibatkan penggondolan seperti perlombongan pasir pantai akan mendedahkan permukaan bumi kepada luluhawa, hujan, sinaran matahari dan tindakan air mengalir seterusnya menyebabkan penyusutan terhadap daratan.</li> </ul>

Jadual 3: Geoindikator cadangan bagi perubahan garis pantai dan susutan darat.

Proses	Geoindikator	Contoh Parameter
Perubahan garis pantai	Perubahan aras laut	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perubahan secara menegak dan mendatar</li> </ul>
	Perubahan geomorfologi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jenis batuan</li> <li>Kadar hakisan</li> <li>Kadar pengendapan</li> <li>Perubahan keluasan zon pantai-kering-basah</li> <li>Perubahan profil fitur geomorfologi secara menegak</li> </ul>
	Perubahan tindakan fizikal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perubahan kekuatan ombak</li> <li>Perubahan kelajuan dan arah tiupan angin</li> <li>Perubahan frekuensi hujan</li> <li>Perubahan pasang-surut</li> </ul>
Susutan darat di pesisir	Perubahan geomorfologi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kadar pergerakan mendatar air laut</li> <li>Kadar luluhawa</li> <li>Kadar hakisan</li> <li>Kadar pengendapan</li> <li>Kadar taburan hujan</li> </ul>
	Perubahan aras laut	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perubahan ketumpatan air laut</li> </ul>
	Perubahan guna tanah	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perubahan keluasan kawasan guna tanah</li> </ul>

## CADANGAN GEOINDIKATOR

Berdasarkan kajian pembacaan yang telah dijalankan, senarai geoindikator yang dicadangkan bagi perubahan garis pantai dan susutan darat ditunjukkan dalam Jadual 3. Bagi kedua-dua garis pantai dan susutan darat, geoindikator-geoindikator yang dikenalpasti adalah berdasarkan kesesuaian kaedah kajian yang digunakan.

Kaedah kajian melibatkan pengumpulan maklumat daripada fotograf udara dan imej satelit diikuti dengan kerja lapangan untuk *ground truthing* dan pengumpulan data tambahan. Bagi garis pantai, geoindikator yang dicadangkan ialah perubahan aras laut, perubahan geomorfologi dan perubahan tindakan fizikal. Perubahan aras laut melihat pergerakan aras laut secara mendatar dan menegak di kawasan kajian. Perubahan geomorfologi berdasarkan kepada perubahan profil di pinggir pantai.

Perubahan tindakan fizikal merangkumi perubahan pasang-surut, perubahan tiupan angin, perubahan kekuatan ombak dan perubahan frekuensi hujan.

Geoindikator bagi susutan darat pula ialah perubahan aras laut, perubahan pengendapan, perubahan hakisan, perubahan geomorfologi dan perubahan gunatanah. Perubahan aras laut, perubahan sedimentasi dan perubahan hakisan dilihat dengan menggunakan fotograf udara dan imej satelit bagi melihat pertambahan atau pengurangan air laut, dan pertambahan atau pengurangan zon pantai secara mendatar. Perubahan gunatanah oleh aktiviti manusia adalah dengan melihat sama ada dijalankan aktiviti tambakan atau tebus guna zon pinggir pantai. Perubahan geomorfologi memerlukan kajian lapangan bagi penentuan penyusutan atau penimbunan profil tanah serta penilaian kadar luluhawa, hakisan dan pengendapan.

## PENUTUP

Perancang pembangunan dan pengurus sumber pantai perlu memahami sejarah perubahan pantai agar dapat merancang pembangunan kawasan pantai dengan berkesan dan dapat mengelakkan bencana hakisan yang boleh mengakibatkan kemusnahan tempat tinggal, kerosakan infrastruktur penting, menjejaskan sumber bekalan tangkapan lautan dan ancaman terhadap perkembangan pantai ke arah mencapai ekosistem stabil.

Penggunaan geoindikator pemetaan zon pinggir pantai dapat membantu bagi meramalkan corak dan perubahan garis pantai dan susutan darat agar tindakan awal dapat diambil untuk mengelakkan fenomena ini terus-menerus memusnahkan keindahan pantai. Ianya juga dapat dimanfaatkan dalam pelbagai bidang terutamanya oleh pembuat dasar dan perancang pembangunan.

## PENGHARGAAN

Kertas kerja ini adalah sebahagian daripada Projek IRPA 08-02-02-0040 bertajuk *Geoindicators for Sustainable Urban Management* yang diketuai oleh Joy J. Pereira.

## RUJUKAN

- Bakkes, J. A. Van de Born, G. J., Helder, R. J. S., Hope, C. W. & Parker, J. D. E., 1994. *An Overview of Environmental Indicators - State of the Art and Perspectives*. Bilthore, The Netherlands : National Inst. Of Public Health and Environmental Protection, and Nairobi : UNEP.
- Berger, A. R., 1996. *Rapid Environmental Assessment*. Rotterdam-Balkema, US.
- Bird, E., 1988. *The Effects of a Predicted Sea Level Rise on the Coast of Malaysia*, United Nation Environment Program Department. Bangkok.
- Carson, M. A., 1976. Mass-wasting, Slope Development and Climate. Dalam: E., Derbyshire (Pengarang) *Geomorphology Climate*, London, John Wiley. p. 101-136.
- Curry, J. R., 1964. Dalam : Jamaludin Md Jahi, The Significance of Quaternary Sea-Level Changes in the Study of Contemporary Coastlines. *Ilmu Alam* 11:57-72.
- Jamaludin Md. Jahi, 1982. The Significance of Quaternary Sea-Level Changes in the Study of Contemporary Coastlines. *Ilmu Alam* 11:57-72.
- Jamaludin Md. Jahi, 1989. Geomorfologi Pinggir Pantai. Dalam : Pengantar Geomorfologi. Dewan bahasa dan Pustaka. Kuala Lumpur. ms. 183-252.
- EPU (Economic Planning Unit, Prime Minister's Department & DANCED (Danish Cooperation on Environment and Development), 1999. *Integrated Coastal Zone Management*. Kuala Lumpur.
- Hammond, A. A. A., Rodenburg, E. & Woodward, R., 1995 *Environmental and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development* Washington DC : World Resources Institute.
- Hodge, R. A., 1996. Indicators and Their Role in Assessing Toward Sustainability. *Geoindicators Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems*. A. A. Balkema, Rotterdam. 19 - 28.
- Jabatan Perdana Menteri, 1985. *National Coastal Erosion Study. Vol 1*. PMD Kuala Lumpur.
- Shahrizaila Abdullah, 1992. Coastal Erosion in Malaysia : Problems and Challenges. Dalam : *The coastal Zone of Peninsular Malaysia*. Penerbit UKM, Bangi. ms. 80-92.
- Sharifah Mastura, 1992a. Development Plan for Coastal Zone Management in Malaysia : Issues and recommendations. Dalam: *The Coastal Zone of Peninsular Malaysia*. Penerbit UKM, Bangi. ms. 63-71.
- Sharifah Mastura, 1992b. The Coastal Zone in Malaysia : Processes, Issues and Management Plan. Malaysia National Conservation Strategy, Economics Planning Unit, Kuala Lumpur.
- Titus, J. G., 1986. Dalam: Tjia, H.D. (ed) *Global Warming and Long-Term Sea Level Change in Southeast Asia*. *Sains Malaysia* 19(1):75-89.
- Tjia, H. D., 1987. Geomorfologi. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur. ms : 251-274.
- Tjia, H. D., 1989. Global Warming and Long Term Sea Level Change in South-Esot Asia. Report presented at UNEP Climatic Change Esat Asian Seas Region Task Team. NUS, Singapore, November 1989. *Sains Malaysiana* 19(1): 75 - 89.
- Tjia, H. D., 1990. Global Warming and Long-Term Sea Level Change in Southeast Asia. *Sains Malaysiana* 19 (1):75-89.
- Turner, R. K., Adger, W. N. & Lorenzoni, I., 1998. Towards Integrated Modelling and Analysis in Coastal Zones : Principles and Practices. LOICZ Rept. & Studies No. 11. LOICZ Int. Project Office, The Netherlands.
- Woodley, S. J. K. & Francis, G., (eds) 1993. *Ecological Integrity and the Management of Ecosystem*. St. Lucie Press, 1993.
- World Comission on Environmental and Development (WCED), 1987. *Our common future*. Oxford : Oxford University Press.
- Young, R. S., Bush, D. M., Pilkey, O. H. & Neal, W. J., 1996. Evaluating Shoreline Change and Associated Risk From Coastal Hazards : An Inexpensive Qualitative Approach. *Geoindicators Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems*. A. A. Balkema, Rotterdam. 193 - 206.