

Implikasi perubahan iklim terhadap zon pesisir pantai di Kuala Selangor, Malaysia

(Implications of climate change on the coastal zone of Kuala Selangor, Malaysia)

UMI AMIRA JAMALUDDIN, CHOUN-SIAN LIM & JOY JACQUELINE PEREIRA*

Pusat Kajian Bencana Asia Tenggara (SEADPRI-UKM)
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor
*Corresponding author email address: joy@ukm.edu.my

Abstrak: Perubahan iklim adalah perubahan corak iklim disebabkan oleh punca semula jadi dan antropogenik yang mempengaruhi aktiviti manusia dan ekosistem semulajadi. Senario masa depan (2025-2034 dan 2041-2050) menunjukkan kenaikan suhu permukaan sebanyak 1.6-2.3°C dan kejadian hujan ekstrem (antara -55% hingga +68%) di Kuala Selangor, berbanding dengan tahap masa lampau (1984-1993). Kenaikan paras laut untuk 2100 dijangka sebanyak 0.5 m. Perubahan iklim merupakan ancaman yang serius kepada sistem manusia dan ekosistem semula jadi di zon pesisir pantai Kuala Selangor. Peningkatan suhu permukaan dijangka mengakibatkan pengurangan pengeluaran hasil padi dan kelapa sawit. Keadaan iklim dan hidrologi yang ekstrem dijangka menyumbang kepada penyusutan tersebut. Kenaikan paras air laut akan meningkatkan kerentanan pembersihan pantai di kawasan rendah dan seterusnya menjejaskan guna tanah yang sedia ada. Hampir 91% daripada komponen yang terdedah adalah kawasan pertanian dan hutan manakala yang selebihnya terdiri daripada kawasan pengangkutan, kediaman, infrastruktur, perniagaan, institusi awam dan industri (termasuk industri akuakultur). Selain itu, potensi perejahan air masin ke dalam akuifer pantai air bawah tanah semakin meningkat seiring dengan peningkatan paras air laut dan ini membawa implikasi terhadap sumber air bawah tanah yang bersih. Implikasi perubahan iklim terhadap zon pesisir pantai di Kuala Selangor dapat ditangani dengan menjalankan langkah adaptasi yang mengambil kira kedua-dua aspek permukaan dan sub-permukaan yang disepadukan ke dalam dasar perancangan zon pesisir pantai. Langkah adaptasi yang berkesan melibatkan pengumpulan maklumat saintifik, penilaian risiko, penentuan objektif adaptasi, penilaian adaptasi, pemilihan langkah adaptasi yang sesuai, perancangan, pelaksanaan dan pemantauan.

Kata kunci: Perubahan iklim, kenaikan paras air laut, zon pesisir pantai, penilaian kerentanan, Kuala Selangor

Abstract: Climate change is a variation in climate patterns due to natural and anthropogenic causes that affect human activity and natural ecosystems. Future projections (2025-2034 and 2041-2050) indicate increases in surface temperature of between 1.6 – 2.3°C and extreme rainfall events (between -55% to +68%) in Kuala Selangor, compared to previous levels (1984-1993). Sea-level rise projected for 2100 is about 0.5 m. Climate change poses a serious threat to humans and natural ecosystems in the coastal zone of Kuala Selangor. The projected increase in surface temperature is expected to reduce the yield from paddy and oil palm plantations. Extreme climate and hydrological conditions are expected to contribute to this decline. Projected sea level rise will increase the susceptibility of low-lying areas to coastal inundation and compromise existing land use. Almost 91% of the exposed components are agricultural and forest areas while the rest comprises transport, residential, infrastructure, business, public institutions and industry (including aquaculture). In addition, the potential for saline intrusion into groundwater aquifers increases as the sea level rises and this has implications for fresh groundwater resource. The implications of climate change in Kuala Selangor can be addressed by undertaking adaptive measures that take into account both surface and sub-surface aspects, which are then integrated into the coastal zone planning policy. Effective adaptation involves the collection of scientific information, risk assessment, determination of adaptation objectives, assessment of adaptation options, selection of appropriate adaptation measures, planning, implementation and monitoring.

Keywords: Climate change, sea level rise, coastal zone, susceptibility assessment, Kuala Selangor

PENGENALAN

Perubahan iklim merupakan fenomena semula jadi yang turut dipengaruhi oleh aktiviti antropogenik terutamanya pembakaran bahan api dan perubahan guna tanah yang merupakan faktor penyumbang utama kepada pertambahan gas rumah hijau di atmosfera (Nicholls *et al.*, 1999; Crowley, 2000; IPCC, 2007; Cazenave & Le Cozannet, 2013; IPCC, 2013). Purata suhu permukaan global telah meningkat sebanyak 0.85°C dalam tempoh 1880 sehingga 2012 (IPCC,

2013). Peningkatan suhu permukaan global direkodkan berlaku pada kadar 0.2°C setiap dekad sejak 1990 hingga 2005 (IPCC, 2007). Peningkatan suhu permukaan global dijangka mencecah 1.5°C pada akhir abad ke-21 manakala gelombang haba pula dijangka berlaku dengan lebih kerap dalam tempoh yang lebih panjang (IPCC, 2013).

Penyusutan litupan ais dan glasier di Antartika dan Greenland serta pencairan salji di Hemisfera Utara dan Selatan merupakan bukti yang menyokong fenomena

perubahan iklim sedang berlaku dengan pesat di samping paras air laut yang menunjukkan kadar kenaikan yang ketara sejak pertengahan abad ke-19 (IPCC, 2013). Keadaan ini dipercayai berlaku memandangkan 90% daripada peningkatan haba dalam sistem iklim dipercayai disimpan oleh jasad lautan dan menyebabkan pengembangan termal air laut (IPCC, 2007; IPCC, 2013). Berikutan fenomena perubahan iklim, paras air laut yang direkodkan meningkat pada kadar 1.5 mm/tahun semasa tempoh 1901-1990, naik kepada kadar 2.0 mm/tahun semasa tempoh 1971-2010, dan berada pada kadar 3.2 mm/tahun bermula pada tahun 1993 hingga 2010 (Church *et al.*, 2013; Reager *et al.*, 2016).

Impak perubahan iklim terutamanya kenaikan paras air laut merupakan ancaman yang serius kepada habitat dan komuniti pesisir pantai (McLeod *et al.*, 2010; Martinich *et al.*, 2013; Bilskie *et al.*, 2014; Hurlimann *et al.*, 2014). Zon pesisir pantai lazimnya merupakan kawasan yang mempunyai populasi yang padat, kegiatan ekonomi yang aktif, ekosistem dan infrastruktur yang penting, serta kepelbagaian biologi (Nicholls, 2011; Cazenave *et al.*, 2014; Nicholls *et al.*, 2014). Antara impak utama kenaikan paras air laut terhadap sistem semula jadi di kawasan pesisir pantai adalah (i) pembanjiran pantai; (ii) perubahan tanah bench; (iii) hakisan; (iv) perejahan (intrusion) air masin terhadap air permukaan dan air bawah tanah; dan (v) peningkatan aras muka air tanah (water table) (McLeod *et al.*, 2010; Nicholls, 2011; Brown *et al.*, 2013; Wong *et al.*, 2014; Mucerino *et al.*, 2019). Impak fizikal ini kemudiannya akan menjejaskan pelbagai sektor sosioekonomi secara langsung dan tidak langsung (Nicholls & Cazenave, 2010) seperti sumber air bersih, pertanian dan perhutanan, perikanan dan akuakultur, kesihatan, rekreasi dan pelancongan, biodiversiti, serta penempatan dan infrastruktur di zon pesisir pantai (McLeod *et al.*, 2010; Nicholls, 2011; Wang *et al.*, 2013; Tang, 2019).

Pemerhatian sepanjang tiga dekad mendapati bahawa secara keseluruhan paras air laut telah meningkat di Malaysia (Tang, 2019). Hasil kajian awalan mendapati bahawa sumber semula jadi di Kuala Selangor terdedah kepada kenaikan paras air laut (Umi *et al.*, 2016). Keadaan sedemikian boleh menyebabkan berlakunya pembanjiran di kawasan rendah zon pesisir pantai dan mencemarkan kawasan pertanian serta air bawah tanah. Kajian ini telah dijalankan untuk mengenalpasti kerentanan (susceptibility) dan pendedahan (exposure) kawasan Kuala Selangor terhadap perubahan iklim secara lebih terperinci. Konsep kerentanan dan pendedahan yang digunakan dalam kajian ini bersandarkan kepada takrifan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dan sering diamalkan dalam penilaian risiko perubahan iklim (Barros *et al.*, 2014; Mucerino *et al.*, 2019). Dalam konteks kajian ini, kerentanan merujuk kepada kawasan zon pesisir pantai yang mungkin mengalami kerosakan akibat pembanjiran atau limpahan air laut ke daratan. Pendedahan pula merujuk kepada komponen guna tanah termasuk penduduk, infrastruktur dan aset ekonomi serta sumber semula jadi lain yang mempunyai kerentanan terhadap perubahan iklim atau terletak dalam kawasan kerentanan pembanjiran.

KAWASAN KAJIAN

Kuala Selangor adalah salah satu daerah di negeri Selangor yang bersempadan dengan Selat Melaka; di mana negeri tersebut mempunyai zon pesisir pantai sepanjang 90 km bermula dari muara Sungai Bernam dan mengunjur ke Sungai Sepang di bahagian selatan dengan kelebaran sehingga 5 km ke arah daratan (di bahagian timur). Zon pesisir pantai Kuala Selangor adalah sepanjang 23 km bermula dari pekan Tanjung Karang sehingga Sungai Buloh. Hampir 97% daripada daerah Kuala Selangor merupakan kawasan bertanah rendah dengan ketinggian kurang daripada 50 m dengan keluasan sebanyak 116,382.53 hektar (JPBD, 2007).

Di Kuala Selangor, guna tanah jenis bukan tepu bina merupakan guna tanah yang lebih dominan dengan peratusan 90.7% yang merangkumi kawasan seluas 108,327.94 ha (JPBD, 2007). Guna tanah bukan tepu bina tersebut terdiri daripada kawasan pertanian (59,298.96 ha), hutan (40,307.92 ha) diikuti oleh tanah kosong (5,804.21 ha) dan jasad air (2,916.55 ha). Guna tanah jenis tepu bina di kawasan kajian pula hanya berkeluasan 11,124.52 ha iaitu 9.3% daripada jumlah keseluruhan kawasan kajian. Guna tanah tepu bina boleh dibahagikan kepada kawasan pengangkutan (5,009.42 ha), kediaman (4,350.73 ha), infrastruktur (449.99 ha), perniagaan (141.64 ha), institusi (707.14 ha) dan industri (465.60 ha).

Sektor ekonomi utama adalah pertanian dan perikanan (JPBD, 2013). Antara tanaman utama yang diusahakan adalah kelapa sawit dan padi yang masing-masing mempunyai jumlah keluasan 48,713.60 ha dan 5,531.86 ha di samping beberapa jenis tanaman lain seperti kelapa, getah, dan buah-buahan (JPBD, 2007). Hasil pengeluaran bagi tanaman yang diusahakan di kawasan kajian terdiri daripada kelapa sawit, padi, kelapa dan buah-buahan (Jadual 1). Sektor perikanan di Kuala Selangor turut melibatkan ternakan akuakultur air tawar dan air payau seperti ternakan kerang yang terletak di sepanjang zon pesisir pantai.

Selain mempunyai tanah pertanian yang subur dan berfungsi sebagai pembekal produk pertanian dan sumber makanan terutamanya di negeri Selangor, kawasan Kuala Selangor juga telah dikenalpasti mempunyai potensi sumber air bawah tanah walaupun tidak digunakan secara aktif buat masa ini (JMG, 2000; Siti Zalipah *et al.*, 2002; Umar *et al.*, 2007). Sejumlah 16 lubang gerudi yang berkedalaman antara 15-45 m telah dibuat untuk menilai potensi sumber air bawah tanah oleh Jabatan Mineral dan Geosains dan

Jadual 1: Hasil pengeluaran bagi tanaman di Kuala Selangor pada tahun 2005. (Sumber: JPBD, 2007)

Jenis Tanaman	Keluasan (hektar)	Hasil (tan/hektar)	Jumlah Pengeluaran ('000 tan)
Kelapa Sawit	43,000	15 tan/hektar	645
Padi	5,589	7 tan/hektar	946
Buah-buahan	1,300	15 tan/hektar	19.5
Kelapa	5,100	4.59 juta biji	-

berdasarkan ujian pengepaman, jumlah pengeluaran air bawah tanah di kawasan kajian dianggarkan 3,200 m³/hari (JMG, 2000).

KAEDAH

Impak perubahan iklim di Kuala Selangor dikaji berdasarkan tiga parameter iaitu suhu permukaan, jumlah hujan serta paras air laut. Sejarah kejadian ekstrem berkaitan suhu, hujan dan luruan ribut berasaskan data daripada Jabatan Meteorologi Malaysia masih belum dilakukan bagi kawasan kajian. Maklumat semasa dan unjuran masa depan untuk setiap parameter tersebut bagi kawasan kajian telah diperolehi daripada Institut Penyelidikan Hidraulik Kebangsaan Malaysia (NAHRIM). Maklumat tersebut digunapakai untuk mengkaji kerentanan dan pendedahan terhadap perubahan iklim berasaskan kepada maklumat sekunder daripada agensi lain seperti Jabatan Mineral dan Geosains (JMG) dan Jabatan Perancangan Bandar dan Desa (JPBD), antara lain.

Unjuran untuk parameter suhu permukaan dan jumlah hujan diperolehi daripada analisis yang berpandukan hanya satu model iklim global iaitu *Canadian General Circulation Model 1* (CGCM1), yang menggunakan resolusi sekitar 410 km yang diperincikan kepada kawasan setempat pada resolusi sekitar 9 x 9 km, dan dihubungkan dengan sistem hidrologi di Semenanjung Malaysia (NAHRIM, 2006). Data yang dihasilkan adalah data mentah bagi komponen hidro-iklim yang terlibat bagi tiga tempoh 10 tahun yang berbeza iaitu 1984-1993 (senario masa lampau) serta 2025-2034 dan 2041-2050 (senario masa hadapan). Perbandingan data yang diwakili oleh masa lampau kepada senario pada masa hadapan dijalankan untuk mengenalpasti pengaruh perubahan iklim terhadap suhu permukaan dan jumlah hujan di kawasan kajian. Walaupun bilangan model iklim global yang digunapakai adalah sangat terhad, kajian tersebut telah membangunkan satu pangkalan data iaitu *Regional Hydroclimate Model of Peninsular Malaysia* (RegHCM-PM) yang boleh digunakan untuk menilai implikasi perubahan iklim secara umum.

Unjuran paras air laut pula diperolehi daripada Kajian Impak Perubahan Iklim terhadap Kenaikan Paras Air Laut di Malaysia (NAHRIM, 2010). Data perubahan paras laut pada masa lampau adalah berpandukan data tolok pasang surut dan altimeter satelit. Unjuran kenaikan paras air laut di Malaysia diperolehi melalui proses asimilasi data altimeter satelit dengan model iklim global (global climate model, GCM). Kenaikan paras air laut bagi setiap sela 20 tahun telah diunjurkan, bermula dari tahun 2020 sehingga 2100. Berdasarkan unjuran kenaikan paras air laut di peringkat tempatan dan global, analisis kerentanan telah dijalankan untuk mengenalpasti kawasan yang mungkin terjejas oleh banjir akibat kenaikan paras air laut di Kuala Selangor. Peta kerentanan banjir (inundation susceptibility) telah dihasilkan dalam sekitaran Sistem Maklumat Geografi untuk mendapatkan kawasan yang mungkin mengalami banjir. Andaian di sini adalah bahawa tiada tindakan adaptasi diambil untuk menghalang kemaraan air laut. Peta kerentanan banjir kemudiannya ditindan dengan peta guna tanah kawasan

kajian untuk mengenalpasti jenis guna tanah serta jumlah keluasan bagi setiap guna tanah yang terdedah kepada proses banjir. Perbandingan menggunakan perisian *Google Map* juga digunapakai untuk mendapatkan lokasi guna tanah yang terjejas secara spesifik (i.e. kawasan kediaman, institusi, industri, perniagaan dll.). Maklumat daripada lubang gerudi digunakan untuk mengkaji potensi perejahan air masin akibat daripada kenaikan paras laut (JMG, 2000).

IMPLIKASI PERUBAHAN IKLIM

Suhu permukaan

Sejak tahun 1951, suhu permukaan di Malaysia meningkat sebanyak 0.18°C pada setiap dekad (Shahid *et al.*, 2017). Semasa tempoh 1969 sehingga 2009, peningkatan suhu permukaan Malaysia direkodkan pada kadar 0.6-1.2°C bagi setiap 50 tahun (NRE, 2011). Menjelang tahun 2050, suhu permukaan di seluruh Semenanjung Malaysia diunjurkan meningkat sebanyak 1.0-1.5°C (NAHRIM, 2006).

Berdasarkan data yang dihasilkan oleh model hidro-iklim RegHCM-PM, purata suhu permukaan bulanan di kawasan kajian sepanjang tempoh 1984-1993 direkodkan berjalut antara 28.3 – 28.8°C. Purata suhu permukaan bulanan diunjurkan meningkat kepada 30.0 – 30.6°C semasa tempoh 2025-2034 sebelum meningkat dengan lebih tinggi kepada 30.8 – 31.3°C pada tahun 2041-2050. Suhu permukaan maksimum di kawasan kajian pada masa lampau berjalut antara 29.5 – 30.1°C. Unjuran pada masa hadapan menunjukkan suhu permukaan maksimum meningkat kepada 31.3 – 32.0°C semasa tempoh 2025-2034 dan seterusnya kepada 32.1 – 32.7°C semasa tempoh 2041-2050. Suhu permukaan minimum di kawasan kajian pula diunjurkan menunjukkan peningkatan daripada 26.2 – 27.0°C pada masa lampau kepada 27.4 – 28.9°C semasa tempoh 2025-2034. Pada tahun 2041-2050, suhu permukaan minimum diunjurkan mengalami peningkatan sehingga 28.1 – 29.3°C. Secara keseluruhan, suhu permukaan di Kuala Selangor diunjurkan akan mengalami peningkatan berjalut antara 1.6 – 2.3°C bermula tahun 2025 sehingga 2050 (Jadual 2).

Menurut Alam *et al.* (2012), peningkatan 1°C suhu permukaan boleh mengakibatkan penyusutan pengeluaran hasil padi sebanyak 4.6-6.1%. Peningkatan suhu melebihi 2°C suhu optimum bagi tanaman kelapa sawit pula boleh mengakibatkan penyusutan hasil sehingga 30% jika jumlah hujan turut merosot sebanyak 10% daripada jumlah hujan

Jadual 2: Suhu permukaan tahunan (°C) pada masa lampau (1984-1993) dan purata senario masa hadapan (2025-2034 & 2041-2050) di kawasan kajian. (Sumber: NAHRIM, 2006)

Tempoh	Masa Lampau	Masa Hadapan	Peningkatan
Suhu Permukaan Maksimum Tahunan (°C)	29.7	32.0	2.3
Purata Suhu Permukaan Tahunan (°C)	28.5	30.7	2.2
Suhu Permukaan Minimum Tahunan (°C)	26.7	28.3	1.6

tahunan (NRE, 2011). Peningkatan suhu juga boleh menimbulkan kesan negatif terhadap ternakan akuakultur iaitu apabila berlaku penyusutan kandungan oksigen terlarut seterusnya menyebabkan penyakit dan kematian ikan (DOF, 2006; FAO, 2009). Berdasarkan unjuran sedemikian, langkah-langkah adaptasi perlu dikenalpasti agar pengeluaran hasil padi dan kelapa sawit serta ternakan akuakultur tidak terjejas.

Jumlah hujan

Perubahan dalam kitaran hidrologi global berikutan pemanasan global semasa abad ke-21 adalah tidak seragam dan bergantung kepada kawasan (IPCC, 2013). Sesetengah kawasan akan mengalami peningkatan atau penyusutan kerpasan (precipitation) manakala sesetengah kawasan berkemungkinan menerima jumlah kerpasan yang konsisten (Stocker *et al.*, 2013). Kekerapan dan keamatan kejadian kerpasan ekstrem (precipitation extremes) dijangka meningkat di rantau tropika menjelang hujung abad ini. Walaupun arus angin monsun dijangka menjadi lebih lemah, namun keamatan hujan monsun dijangka meningkat berikutan peningkatan kelembapan atmosfera (IPCC, 2013).

Unjuran model hidro-iklim RegHCM-PM bagi jumlah hujan di Semenanjung Malaysia adalah tidak seragam. Menjelang tahun 2050, kawasan timur laut Semenanjung Malaysia termasuklah Kelantan, Terengganu dan Pahang diunjurkan mengalami peningkatan jumlah hujan yang paling tinggi iaitu sebanyak 10% manakala kawasan di Selangor dan Johor pula dijangka mengalami penyusutan jumlah hujan sebanyak 5% (NAHRIM, 2006; Alam *et al.*, 2012).

Kawasan kajian yang terletak di bahagian Barat Laut Semenanjung Malaysia menerima hujan maksimum primer pada bulan Oktober-November manakala hujan maksimum sekunder lazimnya pada bulan April-Mei. Tempoh hujan minimum pula berlaku pada bulan Januari-Februari (minimum primer) dan bulan Jun-Julai (minimum sekunder). Perbezaan di antara purata jumlah hujan bulanan pada masa lampau (1984-1993) serta unjuran yang dihasilkan pada masa hadapan (2025-2034 dan 2041-2050) adalah amat berbeza (Jadual 3). Berdasarkan unjuran jumlah hujan yang dihasilkan oleh model iklim RegHCM-PM, jumlah hujan semasa tempoh hujan maksimum primer-pada masa hadapan menunjukkan peningkatan yang signifikan iaitu 49.2% semasa bulan Oktober dan 67.8% semasa bulan November. Tempoh hujan maksimum sekunder pada bulan Mei turut menunjukkan peningkatan jumlah hujan walaupun dengan peratusan yang lebih kecil iaitu 15.7%. Semasa tempoh

hujan minimum pula, jumlah hujan diunjurkan mengalami penyusutan 33.7% pada bulan Jun dan 38.3% pada bulan Julai. Hal yang sama dijangkakan berlaku semasa tempoh hujan minimum primer pada bulan Februari yang mana penyusutan jumlah hujan berlaku pada peratusan yang lebih kecil iaitu 12.9%.

Jumlah hujan maksimum yang lebih tinggi serta jumlah hujan minimum yang lebih rendah menandakan keadaan iklim dan hidrologi yang ekstrem pada senario masa hadapan. Menurut NRE (2011), kekurangan sumber air akan menjejaskan kawasan-kawasan pertanian utama di Semenanjung Malaysia. Kawasan kajian yang terangkum dalam Projek Barat Laut Selangor dijangka mengalami penyusutan hasil tanaman. Pertambahan jumlah hujan sebanyak 1% boleh menyebabkan penyusutan 0.12% hasil padi (Alam *et al.*, 2012). Tanaman kelapa sawit juga dijangka mengalami impak negatif akibat peningkatan jumlah hujan yang mengganggu fasa pematangan buah (Zahid Zainal *et al.*, 2012). Pengeluaran kelapa sawit diunjurkan menyusut sebanyak 30% sekiranya berlaku peningkatan suhu 2°C melebihi suhu optimum berserta penyusutan 20% jumlah hujan (Paterson & Lima, 2018). Pertambahan dan penyusutan jumlah hujan sebanyak 15% masing-masing boleh mengakibatkan banjir atau kemarau yang kedua-duanya menyebabkan pengurangan hasil pertanian sebanyak 80% (NRE, 2011). Langkah adaptasi yang bersesuaian perlu dikenalpasti untuk menangani penyusutan hasil pertanian, khususnya bagi tanaman padi dan kelapa sawit di Kuala Selangor.

Kenaikan paras air laut

Berdasarkan rekod altimeter satelit, kenaikan paras air laut berlaku pada kadar 4.28 mm/tahun bagi kawasan Semenanjung Malaysia manakala 5.12 mm/tahun bagi kawasan Sabah dan Sarawak (NAHRIM, 2010). Kedua-dua kadar kenaikan paras air laut ini adalah lebih tinggi berbanding kadar kenaikan paras air laut global yang direkodkan oleh IPCC (2013) iaitu 3.22 mm/tahun (Umi *et al.*, 2016).

Kajian impak perubahan iklim terhadap kenaikan paras air laut di Malaysia telah menghasilkan unjuran kenaikan paras air laut pada masa hadapan dengan menggunakan pendekatan asimilasi model iklim terhadap data altimeter satelit (NAHRIM, 2010). Berdasarkan kajian tersebut, paras air laut diunjurkan meningkat dalam julat 0.07-0.14 m pada tahun 2040, dan seterusnya meningkat sebanyak 0.25 m-0.52 m menjelang tahun 2100 (Jadual 4). Menurut Ghazali *et al.* (2018), bahagian barat laut Semenanjung

Jadual 3: Purata jumlah hujan bulanan (mm) sepanjang tahun pada masa lampau (1984-1993) dan purata senario masa hadapan (2025-2034 & 2041-2050) di kawasan kajian. (Sumber: NAHRIM, 2006)

Bulan	Jan	Feb	Mac	Apr	Mei	Jun	Jul	Ogos	Sep	Okt	Nov	Dis
Masa Lampau	126.9	166.1	191.8	242.0	159.8	119.1	140.2	159.7	180.1	210.4	201.5	208.7
Masa Hadapan	144.8	144.7	225.4	207.8	185.0	78.9	86.5	101.7	81.1	313.9	338.1	188.3
Perbezaan (%)	14.1	-12.9	17.5	-14.1	15.7	-33.7	-38.3	-36.3	-54.9	49.2	67.8	-9.8

Malaysia terutamanya Kedah merupakan antara kawasan yang mengalami kenaikan paras air laut maksimum. Antara kesan kenaikan paras air laut di Selangor boleh diperhatikan melalui kejadian air pasang-surut sehingga melimpah ke daratan di beberapa kawasan seperti di Jeram dan Ijok, Kuala Selangor (Utusan, 2016). Hampir 52% garis pantai di Selangor dilaporkan telah mula mengalami hakisan di mana hakisan tahap kritikal berlaku di kawasan Bagan Beting, Sungai Besar, Sekinchan, Jeram dan Sungai Sembilang (Zainora Asmawi & Ainaa Nawwarah, 2013; JPBD, 2015).

Pembanjiran pantai

Kenaikan paras air laut akan menyebabkan berlakunya pembanjiran pantai (coastal inundation) di kawasan rendah pesisir pantai (FitzGerald *et al.*, 2008; Nicholls & Cazenave, 2010; Nicholls, 2011; Mucerino *et al.*, 2019). Menjelang tahun 2100, unjuran kenaikan paras air laut bagi

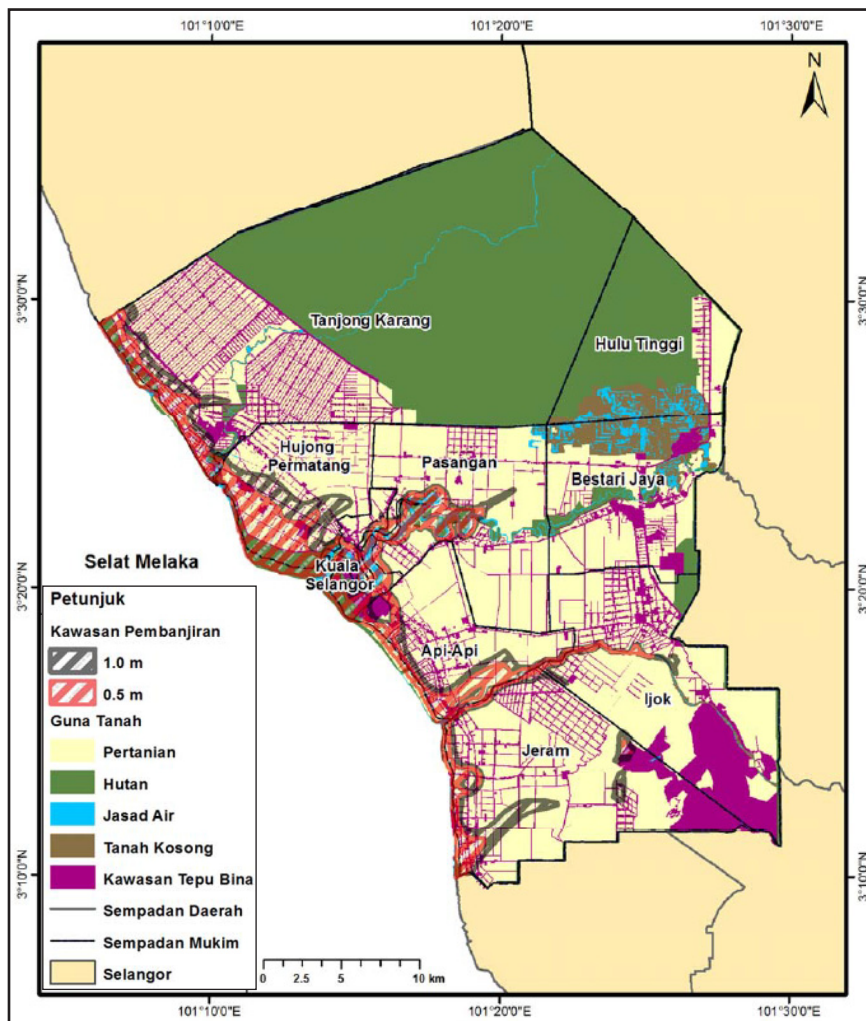
Jadual 4: Unjuran kenaikan paras air laut (m) di Semenanjung Malaysia. (Sumber: NAHRIM, 2010)

Tahun	2020	2040	2060	2080	2100
Kenaikan paras air laut (m)	0.03 – 0.06	0.07 – 0.14	0.12 – 0.25	0.18 – 0.38	0.25 – 0.52

kawasan Semenanjung Malaysia dijangka sebanyak 0.52 m (NAHRIM, 2010) manakala unjuran kenaikan paras air laut maksimum di peringkat global pada tempoh yang serupa adalah di sekitar 0.98 m (IPCC, 2013). Berpandukan unjuran kenaikan paras air laut pada peringkat tempatan dan global, analisis kerentanan pembanjiran telah dijalankan untuk dua keadaan di Kuala Selangor iaitu kenaikan paras air laut sebanyak 0.5 m dan 1.0 m (Rajah 1).

Kawasan pertanian merupakan jenis guna tanah yang paling terdedah kepada pembanjiran pantai memandangkan aktiviti pertanian merupakan kegiatan ekonomi utama di kawasan kajian yang meliputi hampir 50% daripada keseluruhan daerah (Rajah 1). Kenaikan paras air laut setinggi 0.5 m akan menyebabkan kawasan pertanian seluas 3640.32 ha terdedah kepada pembanjiran pantai yang mana sebahagian besar merupakan tanaman kelapa sawit yang berada berhampiran zon pesisir pantai. Kenaikan paras air laut 1.0 m pula didapati akan turut menenggelamkan sebahagian tanaman padi yang terletak di mukim Tanjung Karang dan menjadikan keseluruhan kawasan pertanian yang bakal terjejas mencecah sehingga 7,010.55 ha.

Kawasan hutan di Kuala Selangor terdiri daripada hutan tanah bench paya gambut dan hutan tanah bench paya bakau. Hutan tanah bench paya bakau adalah



Rajah 1: Peta kerentanan pembanjiran dengan kenaikan paras air laut 0.5 m dan 1.0 m di Kuala Selangor. (Sumber Data: JPBD, 2007)

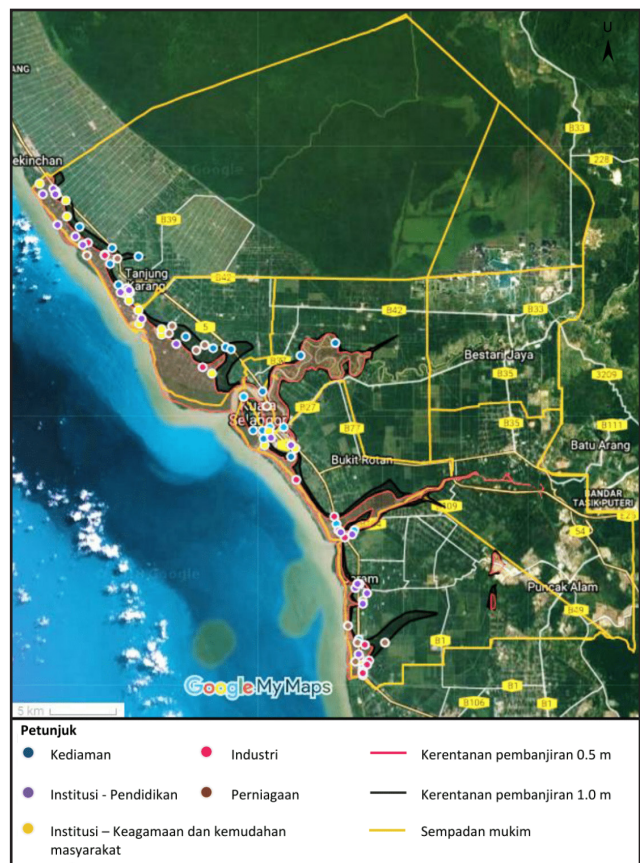
lebih meluas di zon pesisir pantai di kawasan kajian menjadikannya lebih terjejas dengan kenaikan paras air laut berbanding hutan tanah bencah paya gambut yang lebih meluas di bahagian timur laut. Kenaikan paras air laut 0.5 m dan 1.0 m masing-masing akan menyebabkan kawasan hutan tanah bencah paya bakau seluas 2310.48 ha dan 2428.83 ha mengalami pembanjiran. Pembanjiran hutan paya bakau dijangka boleh mengganggu habitat hidupan kelip-kelip seterusnya menjejaskan sektor pelancongan di Kuala Selangor. Kehilangan sebahagian tanah bencah paya bakau yang berfungsi sebagai struktur penahan ombak dan penahan hakisan pantai akan menyebabkan kawasan kajian mengalami impak kenaikan paras air laut yang lebih kritikal pada masa hadapan jika paya bakau gagal bermigrasi ke arah daratan akibat kekurangan ruang.

Guna tanah jenis jasad air di kawasan kajian dibentuk oleh jasad air semula jadi seperti Sungai Tengi, Sungai Selangor dan Sungai Buluh serta jasad air buatan yang antaranya merupakan kolam takungan bekas lombong di Tanjung Karang serta kolam ternakan akuakultur. Kenaikan paras air laut 1.0 m menunjukkan pembanjiran pantai boleh berlaku sehingga 15.6 km ke arah daratan melalui Sungai Buluh. Kawasan tanah kosong di kawasan kajian merupakan kawasan tanah lapang, kawasan belukar, tanah berumput atau berlalang serta kawasan terbiar. Seluas 156.78 ha kawasan tanah kosong diunjurkan terdedah kepada pembanjiran dengan kenaikan paras air laut 0.5 m yang kemudiannya meningkat kepada 181.17 ha dengan kenaikan paras air laut 1.0 m.

Guna tanah jenis pengangkutan di kawasan kajian terdiri daripada jalan kampung dan jalan raya. Kenaikan paras air laut akan menjejaskan jaringan pengangkutan yang terletak berhampiran zon pesisir pantai yang melibatkan mukim seperti Tanjung Karang, Hujung Permatang, Kuala Selangor, Api-api dan Jeram. Dengan kenaikan paras air laut 0.5 m, jumlah keluasan kawasan pengangkutan yang terdedah adalah 438.21 ha dan ini meningkat kepada 834.12 ha dengan kenaikan paras air laut 1.0 m.

Guna tanah kediaman pula boleh dibahagikan kepada perumahan terancang dan perumahan kampung (Rajah 2). Kenaikan paras air laut sebanyak 0.5 m akan mendedahkan sebanyak 192.96 ha guna tanah kediaman kepada pembanjiran air laut dan melibatkan kawasan seperti Kampung Tanjung Keramat dan Taman Kuala Selangor Jaya di Kuala Selangor, Taman Aman dan Taman Malawati Jaya di Api-api, Taman Budi dan Kampung Sungai Janggut di Jeram. Dengan kenaikan paras air laut sebanyak 1.0 m pula kawasan kediaman yang turut terdedah kepada pembanjiran meningkat kepada 358.02 ha. Ini akan melibatkan kawasan perumahan yang lebih jauh di kawasan darat termasuklah Kampung Sungai Burong dan Kampung Dato' Ahmad Razali di Tanjung Karang, Kampung Sungai Yu dan Taman Murni di Hujung Permatang, Taman Sri Penambang di Kuala Selangor, Kampung Sungai Buluh di Api-api dan Taman Ehsan di Jeram.

Guna tanah institusi merujuk kepada guna tanah yang melibatkan pendidikan, kesihatan, keagamaan, rumah



Rajah 2: Lokasi kawasan yang terdedah kepada pembanjiran akibat kenaikan paras air laut 0.5 m dan 1.0 m berdasarkan kategori guna tanah. (Sumber: Google Map)

kebajikan, bangunan kerajaan dan lain-lain kemudahan masyarakat. Kenaikan paras air laut sebanyak 0.5 m akan mendedahkan enam institusi pendidikan di kawasan kepada penenggelaman kekal termasuklah Sekolah Menengah Kebangsaan (SMK) Sungai Burong, KAFA Integrasi Nurul Huda di Tanjung Karang; Sekolah Jenis Kebangsaan (Cina) Yit Khwan di Hujung Permatang; GIATMARA di Api-api; dan Sekolah Rendah Agama Jeram dan Sekolah Kebangsaan Tambak Jawa di Jeram. Kenaikan paras air laut sebanyak 1.0 m pula meningkatkan bilangan institusi pendidikan yang terdedah, contohnya Sekolah Menengah Kebangsaan Seri Desa, Sekolah Jenis Kebangsaan (Tamil) Ghandiji dan Pusat Pembangunan Profesional UKM di Tanjung Karang, Sekolah Menengah Sains Kuala Selangor di Api-api; dan Sekolah Jenis Kebangsaan (Cina) Chung Wah, Sekolah Kebangsaan Jeram dan Pusat Tahfiz Desa Taqwa di Jeram.

Selain institusi pendidikan, institusi keagamaan dan kemudahan masyarakat seperti klinik, stadium, serta perkhidmatan kerajaan yang lain turut didapati terdedah kepada pembanjiran. Kawasan yang terdedah akibat kenaikan paras air laut sebanyak 0.5 m melibatkan Masjid at-Taqwa dan Klinik Desa Bagan Pasir di Hujung Permatang, Pejabat Agama Islam Kuala Selangor, Stadium Tertutup Kuala Selangor serta Dewan Orang Ramai yang terletak di Jeram. Kenaikan paras air laut sebanyak 1.0 m pula

dijangka meningkatkan aset masyarakat, contohnya Masjid At-Taufiqiah, Kuil Sri Maha Kaliamman dan Pusat Internet Desa di Tanjung Karang; Monkey God Temple di Hujung Permatang serta Klinik Desa Sungai Sembilang di Jeram.

Antara kawasan perindustrian yang terdedah kepada pembanjiran dengan kenaikan paras air laut 0.5 m dan 1.0 m termasuklah Lay Hong Food Corporation Sdn. Bhd. di Tanjung Karang; Hadiran Sinar Sdn. Bhd. di Hujung Permatang; JW Properties Sdn. Bhd. di Api-api; serta Wrizer Food F&B Sdn. Bhd., Tomei Consolidated Bhd., Tawei Furniture Sdn. Bhd., Perusahaan Chew Sdn. Bhd., Goodnite Sdn. Bhd. dan Puna G. Sdn. Bhd. di Jeram. Bagi guna tanah jenis perniagaan, beberapa kawasan perniagaan yang berada dalam zon kerentanan pembanjiran akibat kenaikan paras air laut sebanyak 0.5 m dan 1.0 m termasuklah KT Electrical & Hardware dan Pembinaan Wanizam Enterprise yang terletak di Tanjung Karang, Giant Kuala Selangor, BAZAAR Majlis Daerah Kuala Selangor, Mydin, Joo Soeng Enterprise di Api-api serta Rendang RS Enterprise dan My Mydin di Jeram.

Secara keseluruhan, jumlah keluasan kawasan di Kuala Selangor yang diunjurkan mengalami kerentanan pembanjiran akibat kenaikan paras air laut sebanyak 0.5 m meliputi kawasan seluas 7,641.72 ha (Jadual 5). Keluasan kawasan tersebut meningkat kepada 11,795.13 ha dengan kenaikan paras air laut sebanyak 1.0 m. Hampir 91% daripada komponen yang terdedah merangkumi guna tanah bukan tepu bina, khususnya kawasan pertanian dan hutan. Kawasan yang selebihnya terdiri daripada guna tanah tepu bina iaitu kawasan pengangkutan, kediaman, infrastruktur, perniagaan, institusi dan industri.

Perejahan air masin

Perejahan air masin ke dalam akuifer air bawah tanah boleh berlaku melalui pergerakan menegak (vertical) air masin daripada permukaan semasa berlakunya pembanjiran pantai oleh luran ribut ataupun melalui pergerakan menyisi (lateral) air masin di lapisan subpermukaan (Michael *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2016). Berikutan unjuran kenaikan paras air laut di kawasan kajian, potensi perejahan air masin ke dalam akuifer air bawah tanah dikenal pasti untuk dua senario iaitu (i) perejahan air masin daripada permukaan akibat pembanjiran pantai dan (ii) perejahan air masin melalui subpermukaan akibat kemaraan antara muka air masin – air tawar.

Perejahan air masin daripada permukaan:

Berdasarkan kepada maklumat daripada lubang gerudi, kualiti air bawah tanah didapati menjadi lebih masin ke arah pantai (Rajah 3). Tiga set keratan rentas akuifer yang mengunjur dari arah lautan ke arah daratan (barat daya-timur laut) menunjukkan bahawa kawasan kajian terdiri daripada akuifer terkekang dan akuifer tidak terkekang (Rajah 4a, 4b, dan 4c). Lapisan akuifer yang dibentuk oleh pasir dan kerikil berkedalaman kira-kira 15-45 m semakin menebal ke arah pantai. Akuifer ini didasari oleh batuan metasedimen iaitu sabak, batu pasir dan granit. Sebanyak 13 daripada 16 lubang gerudi didapati berada di akuifer terkekang dengan kehadiran lapisan lempung dan gambut

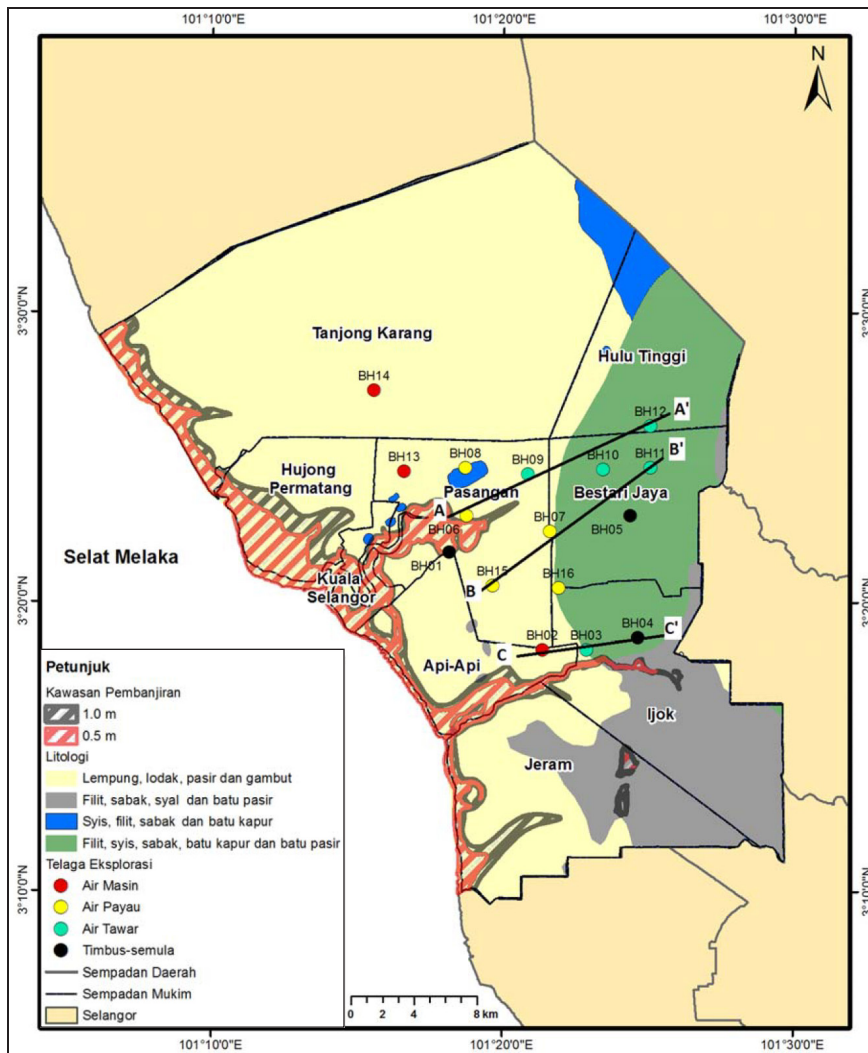
Jadual 5: Keluasan guna tanah terdedah (hektar) akibat kenaikan paras air laut 0.5 m dan 1.0 m.

Kategori Guna Tanah Terdedah	Jumlah Keluasan Keseluruhan (hektar)	Keluasan Zon Kerentanan Pembanjiran (hektar)	
		Kenaikan Paras Air Laut 0.5 m	Kenaikan Paras Air Laut 1.0 m
Bukan Tepu Bina			
Pertanian	59,298.96	3,640.32 (47.6%)	7,010.55 (59.5%)
Hutan	40,307.92	2,310.48 (30.2%)	2,428.83 (20.6%)
Jasad Air	2,916.55	820.26 (10.7%)	828.18 (7.0%)
Tanah Kosong	5,804.21	156.78 (2.1%)	181.17 (1.5%)
Jumlah	108,327.94	6,927.84 (90.7%)	10,448.73 (88.6%)
Tepu Bina			
Pengangkutan	5,009.42	438.21 (5.7%)	834.12 (7.1%)
Kediaman	4,350.73	192.96 (2.3%)	358.02 (3.0%)
Infrastruktur	449.99	31.23 (0.4%)	40.59 (0.3%)
Perniagaan	141.64	21.96 (0.3%)	32.04 (0.3%)
Institusi	707.14	21.87 (0.3%)	55.53 (0.5%)
Industri	465.60	7.65 (0.1%)	26.10 (0.2%)
Jumlah	11,124.52	713.88 (9.3%)	1,346.4 (11.4%)
Jumlah Keseluruhan	119,452.46	7,641.72 (6.40%)	11,795.13 (9.87%)

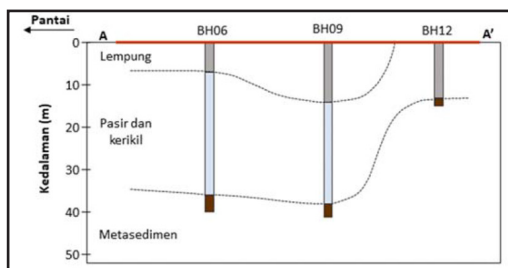
di bahagian permukaan dengan ketebalan berjulat antara 7-29 m. Akuifer terkekang tidak akan dipengaruhi oleh perejahan air masin daripada permukaan walaupun paras laut naik. Terdapat tiga lubang gerudi iaitu BH10, BH11 dan BH12 yang berada di akuifer tak terkekang iaitu di mukim Bestari Jaya dan Hulu Tinggi. Kawasan tersebut tidak dijangka mengalami pembanjiran akibat kenaikan paras laut berikutan topografi kawasan tersebut yang lebih tinggi.

Perejahan air masin melalui subpermukaan:

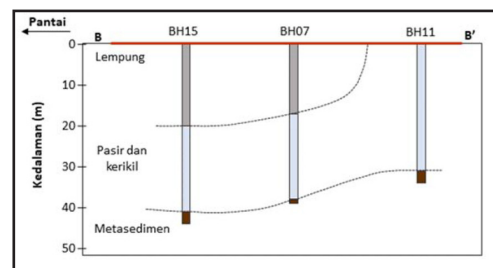
Berdasarkan kepada maklumat daripada lubang gerudi, ditafsirkan bahawa sebahagian besar lapisan permukaan akuifer terdiri daripada sedimen peroi lempung dan lodak marin yang mempunyai nilai ketertelapan yang sangat rendah (Rajah 5a, 5b, dan 5c). Namun, proses penyusupan masih boleh berlaku walaupun pada kadar yang sangat perlahan (Jamil *et al.*, 2018). Walau bagaimanapun, air lautan yang berjaya menyusup ke dalam lapisan geologi ini diandaikan akan berada dalam zon tak tepu sistem akuifer



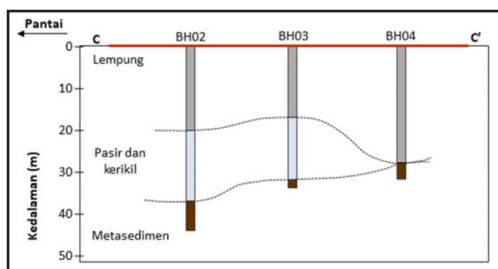
Rajah 3: Lokasi lubang gerudi dan kualiti air bawah tanah di peta kerentanan pembanjiran akibat kenaikan paras air laut 0.5 m dan 1.0 m. (Sumber Data Lubang Gerudi: JMG, 2000)



Rajah 4 (a): Keratan rentas akuifer (A-A') berdasarkan maklumat lubang gerudi BH06, BH09 dan BH12. Rujuk Rajah 3 untuk lokasi A-A' dan jarak lubang gerudi. (Sumber Data: JMG, 2000)



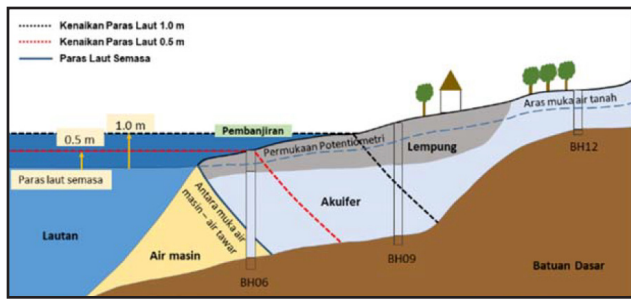
Rajah 4 (b): Keratan rentas akuifer (B-B') berdasarkan maklumat lubang gerudi BH15, BH07 dan BH11. Rujuk Rajah 3 untuk lokasi B-B' dan jarak lubang gerudi. (Sumber Data: JMG, 2000)



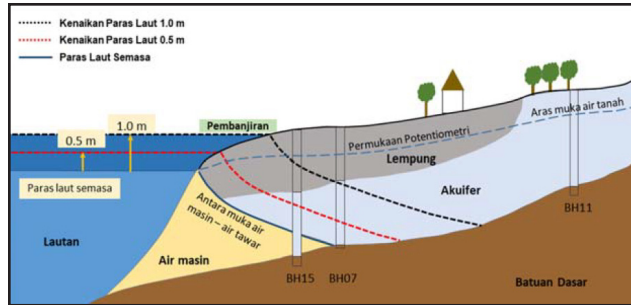
Rajah 4 (c): Keratan rentas akuifer (C-C') berdasarkan maklumat lubang gerudi BH02, BH03 dan BH04. Rujuk Rajah 3 untuk lokasi C-C' dan jarak lubang gerudi. (Sumber Data: JMG, 2000)

dalam jangka masa yang lama sehingga menyebabkan berlakunya degradasi aerob dan memusnahkan bahan cemar yang terkandung dalam air masin tersebut (Younger, 2006). Sekiranya air masin ini akhirnya memasuki ruang akuifer, nisbah air masin kepada air tawar dalam akuifer adalah terlalu kecil untuk mencemarkan air bawah tanah.

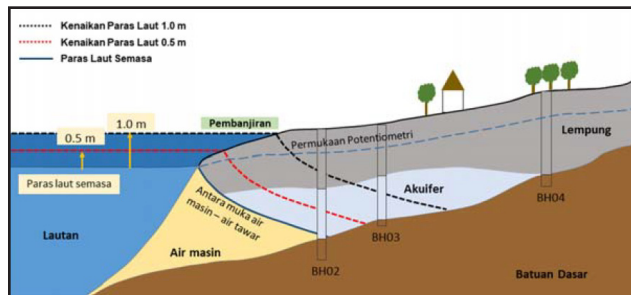
Perejahan air masin ke dalam akuifer pantai juga boleh berlaku melalui subpermukaan iaitu apabila berlaku kemaraan antara muka air masin - air tawar ke arah daratan seiring dengan kenaikan paras air laut. Perejahan air masin dilihat telah berlaku berikutan kualiti air bawah



Rajah 5 (a): Tafsiran sistem akuifer di kawasan kajian berdasarkan maklumat lubang gerudi BH06, BH09 dan BH12. (Sumber Data: JMG, 2000)



Rajah 5 (b): Tafsiran sistem akuifer di kawasan kajian berdasarkan maklumat lubang gerudi BH15, BH07 dan BH11. (Sumber Data: JMG, 2000)



Rajah 5 (c): Tafsiran sistem akuifer di kawasan kajian berdasarkan maklumat lubang gerudi BH02, BH03 dan BH04. (Sumber Data: JMG, 2000)

tanah yang berada berhampiran dengan zon pesisir pantai menunjukkan kualiti air masin (JMG, 2000). Kenaikan paras air laut dijangka akan mempercepatkan kadar perejahan air masin pada masa hadapan iaitu apabila berlaku peningkatan kepala hidraulik air masin-air tawar di zon transisi air masin kepada air tawar (Ranjan *et al.*, 2006). Keadaan ini akan menyebabkan antara muka air masin – air tawar bergerak lebih jauh ke arah daratan dalam sistem akuifer air bawah tanah dan menyebabkan perejahan air masin berlaku dengan lebih kritikal sehingga boleh mengakibatkan kualiti air bawah tanah yang berada jauh daripada pantai bertukar kepada air payau akibat pencemaran air laut. Jika keadaan ini diiringi dengan keadaan penyusutan jumlah hujan dan kekurangan sumber air permukaan (sebagai contoh, semasa musim kemarau), ianya mungkin menjejaskan perolehan sumber air bersih untuk pengairan dan kegunaan domestik.

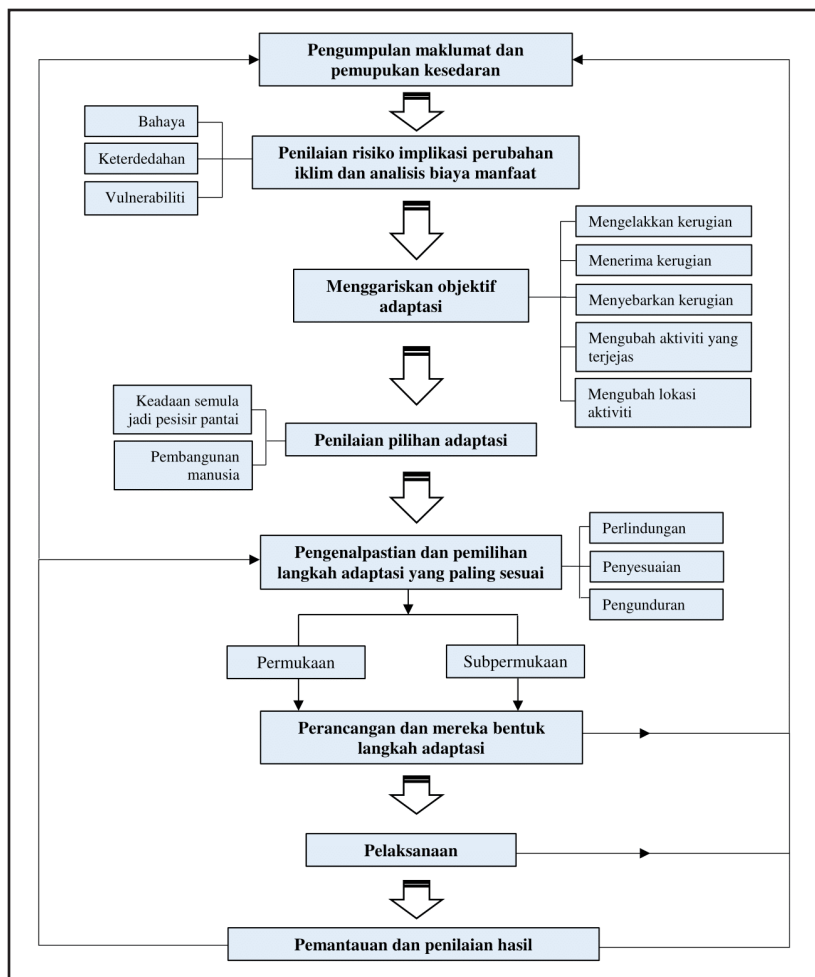
PENDEKATAN ADAPTASI BERSEPADU DI ZON PESIRIS PANTAI

Perubahan iklim khususnya kenaikan paras air laut merupakan ancaman yang serius terhadap ekosistem zon pesisir pantai yang mempengaruhi pelbagai sektor sosio-ekonomi. Walau bagaimanapun, implikasi perubahan iklim boleh diminimumkan melalui dasar perancangan zon pesisir pantai yang menyeluruh serta melibatkan pengurusan adaptasi yang berterusan. Keupayaan beradaptasi bagi zon pesisir pantai boleh ditingkatkan dengan menjalankan langkah adaptasi semasa proses pembangunan dan perancangan guna tanah seperti reka bentuk infrastruktur yang dapat mengurangkan risiko impak perubahan iklim (IPCC, 2007).

Langkah adaptasi terhadap impak perubahan iklim seharusnya diselaraskan dengan dasar perancangan zon pesisir pantai dan perlu mengambilkira keadaan semula jadi zon pesisir pantai serta potensi impak terhadap sumber semula jadi dan sumber manusia (Boateng, 2008). Secara umumnya, pendekatan bersepadu ini dibentuk menggunakan dasar perancangan zon pesisir pantai sedia ada seperti Pengurusan Zon Pesisir Pantai Bersepadu (Integrated Coastal Zone Management, ICZM) dan Penilaian Impak Alam Sekitar (Environmental Impact Assessment, EIA) yang digabungkan bersama beberapa langkah adaptasi untuk memastikan proses adaptasi dijalankan secara holistik dan berterusan.

Suatu rangka kerja adaptasi terhadap implikasi perubahan iklim yang mengambilkira kedua-dua aspek permukaan dan sub-permukaan dan disepadukan ke dalam dasar perancangan zon pesisir pantai disarankan untuk kawasan kajian (Rajah 6). Rangka kerja ini terdiri daripada enam langkah utama. Langkah pertama melibatkan pengumpulan maklumat, khususnya maklumat saintifik yang dapat memupuk kesedaran mengenai impak perubahan iklim di zon pesisir pantai Kuala Selangor. Maklumat asas mengenai sesebuah zon pesisir pantai yang melibatkan ciri-ciri fizikal, aktiviti manusia serta proses semula jadi yang terlibat adalah penting dalam membentuk repositori data di samping memberi kefahaman dan kesedaran kepada semua pihak berkepentingan (Klein *et al.*, 2001).

Langkah kedua melibatkan penilaian risiko impak perubahan iklim terhadap zon pesisir pantai berdasarkan maklumat yang telah dikumpulkan. Penilaian risiko yang dijalankan perlulah mengambilkira tiga komponen utama iaitu (i) bahaya (hazard) yang mempunyai impak negatif terhadap zon pesisir pantai dan menyumbang kepada kerentanan (susceptibility) sesuatu kawasan; (ii) keterdedahan (exposure) komponen zon pesisir pantai terhadap impak perubahan iklim semasa dan masa hadapan; serta (iii) kemudahterancaman (vulnerability) komponen zon pesisir pantai terhadap impak perubahan iklim semasa dan masa hadapan. Setelah mengenalpasti risiko perubahan iklim di zon pesisir pantai, analisis biaya manfaat (cost-benefit analysis) dapat membantu dalam proses membuat keputusan dengan perbandingan situasi yang menjalankan langkah adaptasi dengan situasi tanpa langkah adaptasi.



Rajah 6: Cadangan rangka kerja adaptasi dan perancangan zon pesisir pantai bersepadu untuk Kuala Selangor. (Diubah suai daripada Boateng, 2008)

Langkah ketiga adalah penentuan objektif langkah adaptasi yang ingin dicapai berdasarkan hasil analisis yang telah diperolehi daripada langkah terdahulu. Lima strategi boleh digunapakai untuk tujuan tersebut iaitu sama ada untuk (i) mengelakkan kerugian; (ii) menerima kerugian; (iii) berkongsi kerugian; (iv) mengubah aktiviti yang terjejas; ataupun (v) mengubah lokasi sesuatu aktiviti (McCulloch *et al.*, 2002).

Langkah keempat pula melibatkan penilaian pilihan (opsyen) adaptasi yang sesuai. Terdapat beberapa pilihan adaptasi untuk menangani isu pengurangan hasil tanaman padi akibat keadaan suhu dan kemasinan yang meningkat serta air yang berkurangan (Wang, 2013; Tang, 2019; Boonwichai, 2019). Antara pilihan tersebut adalah penggunaan baka yang tahan-panas atau tumbuh-cepat, penukaran tarikh penyemaian benih, penukaran masa pembajaan jumlah baja yang digunakan, penukaran sawah padi kepada tanaman lain yang tahan-masin atau sebagai kolam ikan. Penyelidikan juga sedang maju dalam penghasilan baka padi hasil tinggi yang dapat juga tahan masin (Wang *et al.*, 2013; Ma & Yuan, 2015). Pilihan adaptasi bagi kelapa sawit pula kurang maju berbanding dengan tanaman padi kerana usaha semasa lebih menumpu kepada peranan guna tanah kelapa sawit dalam aspek mitigasi perubahan iklim (Tang, 2019). Antara langkah adaptasi yang dikemukakan untuk tanaman kelapa

sawit termasuk menggalakkan penyelidikan mengenai teknik perladangan, penyediaan tanah dan pengurusan ladang serta pemilihan spesies kelapa sawit yang meningkatkan penyerapan karbon (Somboonsuke *et al.*, 2018; Tang, 2019). Adaptasi untuk menangani pembanjiran pantai pula merangkumi pembinaan struktur, pendekatan ekosistem, penggunaan sistem perancangan guna tanah, antara lain (Mucerino *et al.*, 2019; Tang, 2019). Faktor utama yang perlu diambil kira dalam penilaian pilihan adaptasi yang sesuai bagi Kuala Selangor adalah keadaan semula jadi, pembangunan semasa, unjuran suhu, jumlah hujan dan kenaikan paras laut yang lebih tepat serta penglibatan pihak yang berkepentingan dan penduduk tempatan.

Langkah kelima berkaitan dengan pengenalpastian dan pemilihan langkah adaptasi yang sesuai. Ciri-ciri zon pesisir pantai yang telah dikenalpasti akan mempengaruhi jenis tindakan yang diambil iaitu samada perlindungan, penyesuaian ataupun pengunduran. Secara umumnya, perlindungan merupakan pilihan adaptasi yang paling sesuai untuk zon pesisir pantai yang telah dibangunkan dengan pesat. Namun begitu, jika kos struktur perlindungan didapati melebihi nilai kegiatan ekonomi di zon pesisir pantai, langkah penyesuaian harus dipertimbangkan. Bagi zon pesisir pantai yang tidak dimajukan ataupun langkah penyesuaian memerlukan kos yang lebih tinggi berbanding

nilai pembangunan dan kegiatan ekonomi, pengunduran merupakan langkah yang paling sesuai.

Langkah seterusnya merangkumi perancangan, pelaksanaan dan pemantauan. Bergantung kepada impak perubahan iklim yang ingin ditangani di zon pesisir pantai, langkah adaptasi bagi kawasan permukaan dan subpermukaan lazimnya memerlukan proses perancangan dan reka bentuk berbeza. Setelah mengenalpasti dan melaksanakan langkah adaptasi yang mampu menangani impak perubahan iklim di zon pesisir pantai, proses pemantauan dan penilaian hasil akan dijalankan untuk menentukan jika langkah adaptasi berjaya mencapai objektif yang ditetapkan. Jika objektif adaptasi tidak dicapai, langkah adaptasi yang dipilih mungkin tidak sesuai dan proses adaptasi ini perlu diulang semula bermula dengan proses mengenalpastian dan pemilihan adaptasi yang baru. Namun begitu, pemilihan adaptasi tidak sesuai (maladaptasi) boleh juga berpunca daripada maklumat yang tidak lengkap. Jika keadaan ini berlaku, proses adaptasi perlu diubahsuai.

Rangka kerja bersepadu ini dijangkakan dapat membantu dalam proses beradaptasi terhadap impak perubahan iklim dengan lebih berkesan memandangkan konsepnya yang lebih menyeluruh dan melibatkan proses yang berterusan. Pelaksanaan rangka kerja ini secara tidak langsung dapat menggalakkan aktiviti pengumpulan maklumat di zon pesisir pantai secara berterusan. Rekod data yang berkualiti dalam jangka masa panjang amat memainkan peranan penting terutamanya dalam permodelan unjuran impak pada masa hadapan untuk aplikasi teknologi sebagai langkah adaptasi. Selain itu, maklumat zon pesisir pantai yang lengkap dapat membantu meningkatkan kesedaran dan keupayaan semua pihak yang berkepentingan untuk memahami ciri-ciri zon pesisir pantai setempat dan seterusnya melancarkan proses perancangan dan pelaksanaan langkah adaptasi di zon pesisir pantai.

KESIMPULAN

Suhu permukaan di Kuala Selangor diunjurkan akan mengalami peningkatan ber julat antara 1.6 – 2.3°C dalam dua senario masa hadapan (2025-2034 dan 2041-2050) berbanding dengan masa lampau (1984-1993). Jumlah hujan maksimum yang lebih tinggi (sehingga 68% berbanding dengan masa lampau) serta jumlah hujan minimum yang lebih rendah (sehingga 55% berbanding dengan masa lampau) menandakan keadaan iklim dan hidrologi yang ekstrem pada masa hadapan. Unjuran kenaikan paras air laut bagi kawasan Semenanjung Malaysia dijangka sebanyak 0.52 m pada tahun 2100 manakala unjuran kenaikan paras air laut maksimum di peringkat global adalah di sekitar 0.98 m pada tempoh yang serupa.

Perubahan iklim merupakan ancaman terhadap ekosistem zon pesisir pantai di Kuala Selangor dan boleh menjejaskan pelbagai sektor sosio-ekonomi dan sumber air bersih di kawasan tersebut. Peningkatan suhu permukaan sebanyak 1°C boleh mengakibatkan penyusutan pengeluaran hasil padi sehingga 6%. Suhu melebihi 2°C boleh menyebabkan penyusutan hasil kelapa sawit sehingga 30%

jika jumlah hujan turut merosot. Keadaan iklim dan hidrologi yang ekstrem pada masa hadapan dijangka menyumbang kepada penyusutan hasil tanaman.

Kenaikan paras air laut menyumbang kepada kerentanan pembanjiran pantai di kawasan rendah dan seterusnya menjejaskan guna tanah yang sedia ada. Dengan andaian bahawa tiada tindakan adaptasi diambil untuk menghalang kemaraan air laut, kawasan seluas 7,641.72 ha di Kuala Selangor dijangka mengalami pembanjiran akibat kenaikan paras air laut sebanyak 0.5 m. Keluasan kawasan kerentanan pembanjiran pantai meningkat kepada 11,795.13 ha dengan kenaikan paras air laut sebanyak 1.0 m. Hampir 91% daripada komponen yang terdedah adalah kawasan pertanian dan hutan manakala yang selebihnya terdiri daripada kawasan pengangkutan, kediaman, infrastruktur, perniagaan, institusi awam dan industri. Selain itu, bahaya perejahan air masin ke dalam akuifer pantai air bawah tanah semakin meningkat seiring dengan peningkatan paras air laut dan ini membawa implikasi terhadap sumber air bawah tanah yang bersih.

Implikasi perubahan iklim terhadap zon pesisir pantai di Kuala Selangor dapat ditangani dengan menjalankan langkah adaptasi yang mengambilkira kedua-dua aspek permukaan dan sub-permukaan dan disepadukan ke dalam dasar perancangan zon pesisir pantai. Langkah adaptasi yang berkesan melibatkan pengumpulan maklumat saintifik, penilaian risiko, penentuan objektif adaptasi, penilaian adaptasi, pemilihan langkah adaptasi yang sesuai, perancangan, pelaksanaan dan pemantauan.

PENGHARGAAN

Penyelidikan ini dibiayai oleh geran daripada Asia Pacific Network for Global Change (APN). Penulis menghargai input daripada Dr. Saim Suratman (mantan Timbalan Pengarah NAHRIM) dan Encik Jasni Yaakub (Institut Alam Sekitar dan Pembangunan, UKM) semasa perancangan penyelidikan. Sokongan agensi kerajaan dalam perkongsian data juga amat dihargai.

RUJUKAN / REFERENCES

- Alam, M.M., Siwar, C., Talib, B., Jaafar, A.H. & Mohd Ekhwan, T., 2012. Farmers' Perceptions Study on Required Supports for Climate Change Adaptation in Malaysia, *Asian Journal of Environmental and Disaster Management*, 4(1), 83-97.
- Barros, V., Field, C., Dokke, D., Mastrandrea, M., Mach, K., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K., Estrada, Y., Genova, R., B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, & L.L. White, 2014. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability-part B: Regional Aspects-Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1132 p.
- Bilskie, M. V, Hagen, S. C., Medeiros, S. C. & Passeri, D. L., 2014. Dynamics of sea level rise and coastal flooding on a changing landscape. *Geophysical Research Letter*, 41, 927-934.
- Boateng, I., 2008. Integrating sea-level rise adaptation into planning policies in the coastal zone. *Kertas Kerja FIG Working Week 2008, Stockholm, Sweden*, 14-19 Jun.
- Boonwichai, S., Shrestha, S., Babel, M.S., Weesakul, S. & Datta,

- A., 2019. Evaluation of climate change impacts and adaptation strategies on rainfed rice production in Songkhram River Basin, Thailand. *Science of the Total Environment*, 652, 189–201.
- Brown, S., Nicholls, R. J., Woodroffe, C. D., Hanson, S., Hinkel, J., Kebede, A. S., Neumann, B. & Vafeidis, A. T., 2013. Sea-level rise impacts and responses: a global perspective. In: Finkl, C.W. (Ed.), *Coastal Hazards*, 117-149. Springer, Dordrecht, Netherlands. 840 p.
- Cazenave, A. & Le Cozannet, G., 2013. Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future*, 2, 15–34.
- Cazenave, A., Dieng, H.-B., Meyssignac, B., von Schuckmann, K., Decharme, B. & Berthier, E., 2014. The rate of sea-level rise. *Nature Climate Change*, 4(5), 358–36.
- Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer & A.S. Unnikrishnan, 2013. Sea Level Change. In: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1523 p.
- Crowley, T. J., 2000. Causes of climate change over the past 1000 years. *Science*, 289, 270–277.
- DOF, 2006. Kesan El-Nino terhadap industri perikanan. Jabatan Perikanan Malaysia. <https://www.dof.gov.my/index.php/pages/view/2368>.
- FAO, 2009. Climate change implications for fisheries and aquaculture. Rome: Food And Agriculture Organization of the United Nations.
- FitzGerald, D. M., Fenster, M. S., Argow, B. A. & Buynevich, I. V., 2008. Coastal impacts due to sea-level rise. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36(1), 601–647.
- Ghazali, N.H.M., Awang, N.A., Mahmud, M. & Mokhtar, A., 2018. Impact of sea level rise and tsunami on coastal areas of north-west Peninsular Malaysia. *Irrigation and Drainage*.
- Hurlimann, A., Barnett, J., Fincher, R., Osbaldiston, N., Mortreux, C. & Graham, S., 2014. Urban planning and sustainable adaptation to sea-level rise. *Landscape and Urban Planning*, 126, 84–93.
- IPCC, 2007. Summary for policymakers. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 p.
- IPCC, 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 33 p.
- Jamil, H., Roslan, N., Abdullah, A.M., Tan, P.S. & Aros, M.A., 2018. Alluvium geochemistry and groundwater aquifer of Kg. Tiram Burok, Tanjong Karang area, Selangor. *Warta Geologi*, 44(3), 111-113.
- JMG, 2000. Potensi Sumber Air Tanah di Kawasan Kuala Selangor-Batang Berjuntai-Tanjung Karang Daerah Kuala Selangor, Selangor. Jabatan Mineral dan Geosains, Selangor.
- JPBD, 2007. Rancangan Tempatan Majlis Daerah Kuala Selangor 2015. Peta Cadangan & Pernyataan Bertulis. Jabatan Perancangan Bandar dan Desa, Selangor.
- JPBD, 2013. Draf Rancangan Tempatan Majlis Daerah Kuala Selangor 2025. Jabatan Perancangan Bandar dan Desa, Selangor.
- JPBD, 2015. Laporan Tinjauan Kajian Rancangan Struktur Negeri Selangor 2035. Jabatan Perancangan Bandar dan Desa, Selangor.
- Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., Ragoonaden, S., Capobianco, M., Aston, J. & Buckley, E.N., 2001. Technological options for adaptation to climate change in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 17(3), 531–543.
- Ma, G.H. & Yuan, L.P., 2015. Hybrid rice achievements, development and prospect in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 197–205.
- Martinich, J., Neumann, J., Ludwig, L. & Jantarasami, L., 2013. Risks of sea level rise to disadvantaged communities in the United States. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18, 169–185.
- McCulloch, M.M., Forbes, L.D. & Shaw, W.R., 2002. Coastal impacts of climate change and sea level rise on Prince Edward Island. Synthesis Report. Meteorological service of Canada, Geological Survey of Canada and Rodshaw Environmental Consulting.
- McLeod, E., Poulter, B., Hinkel, J., Reyes, E. & Salm, R., 2010. Sea-level rise impact models and environmental conservation: A review of models and their applications. *Ocean & Coastal Management*, 53(9), 507–517.
- Michael, H.A., Russoniello, C.J. & Byron, L.A., 2013. Global assessment of vulnerability to sea-level rise in topography-limited and recharge-limited coastal groundwater systems. *Water Resources Research*, 49(4), 2228–2240.
- Mucerino, L., Albarella, M., Carpi, L., Besio, G., Benedetti, A., Corradi, N., Firpo, M. & Ferrari, M., 2019. Coastal exposure assessment on Bonassola bay. *Ocean and Coastal Management*, 167, 20–31.
- NAHRIM, 2006. Study of the impact of climate change on the hydrologic regime and water resources of Peninsular Malaysia. Laporan akhir. Selangor: Institut Penyelidikan Hidraulik Kebangsaan Malaysia.
- NAHRIM, 2010. The study of impact of climate change on sea level rise in Malaysia. Laporan akhir. Selangor: Institut Penyelidikan Hidraulik Kebangsaan Malaysia.
- Nicholls, R.J., 2011. Sea level impacts of climate change. *Kertas Kerja Persidangan Improving the Assessment and Valuation of Climate Change Impacts for Policy and Regulatory Analysis: Research on Climate Change Impacts and Associated Economic Damages*. Washington, DC, 27-28 Januari.
- Nicholls, R.J., Hanson, S.E., Lowe, J.A., Warrick, R.A., Lu, X. & Long, A.J., 2014. Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(1), 129–150.
- Nicholls, R.J., Hoozemans, F.M. J. & Marchand, M., 1999. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: Regional and global analyses. *Global Environmental Change*, 9, S69-S87.
- Nicholls, R.J. & Cazenave, A., 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328, 1517–1520.
- NRE, 2011. Malaysia's Second National Communication to the UNFCCC. Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar Malaysia, Malaysia.
- Paterson, R.R.M. & Lima, N., 2018. Climate change affecting oil palm agronomy, and oil palm cultivation increasing climate change, require amelioration. *Ecology and Evolution*, 8(1),

- 452-461.
- Ranjan, P., Kazama, S. & Sawamoto, M., 2006. Effects of climate change on coastal fresh groundwater resources. *Global Environmental Change*, 16, 388-399.
- Reager, J.T., Gardner, A.S., Famiglietti, J.S., Wiese, D.N., Eicker, A. & Lo, M.-H., 2016. A decade of sea level rise slowed by climate-driven hydrology. *Science*, 351(6274), 699-704.
- Shahid, S., Pour, S.H., Wang, X., Shourav, S.A., Minhans, A. & Ismail, T., 2017. Impacts and adaptation to climate change in Malaysian real estate. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 9(1), 87-103.
- Siti Zalipah, J., Umar, H., Abdul Rahim, S. & Malim, E.P., 2002. Teknik-teknik geoelektrik dalam pemetaan air masin di Kuala Selangor. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 45, 319-321.
- Somboonsuke, B., Phitthayaphinant, P., Sdoodee, S. & Kongmanee, C., 2018. Farmers' perceptions of impacts of climate variability on agriculture and adaptation strategies in Songkhla. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 39, 277-283.
- Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, L.V. Alexander, S.K. Allen, N.L. Bindoff, F.-M. Br  on, J.A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J.M. Gregory, D.L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke, J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, G.A. Meehl, I.I. Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, L.D. Talley, D.G. Vaughan & S.-P. Xie., 2013. Technical summary. In: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p.
- Tang, K.H.D., 2019. Climate change in Malaysia: Trends, contributors, impacts, mitigation and adaptations. *Science of the Total Environment*, 650, 1858-1871.
- Umar, H., Abdul Rahim, S. & Malim, E.P., 2007. Groundwater investigation in Kuala Selangor using vertical electrical sounding (VES) surveys. *Environmental Geology*, 51(8), 1349-1359.
- Umi, A.J., Jasni, Y. & Pereira, J.J., 2016. Threats faced by groundwater: A preliminary study in Kuala Selangor. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 62, 65 - 72.
- Utusan, 2016. Air pasang besar akibat pemanasan global? <http://www.utusan.com.my/rencana/utama/air-pasang-besar-akibat-pemanasan-global-1.385366>.
- Wang, J., Huang, X., Zhong, T. & Chen, Z., 2013. Climate change impacts and adaptation for saline agriculture in north Jiangsu Province, China. *Environmental Science & Policy*, 25, 83-93.
- Wong, P.P., Losada, I.J., Gattuso, J.-P., Hinkel, J., Khattabi, A., McInnes, K.L., Saito, Y. & Sallenger, A., 2014. Coastal systems and low-lying areas. In: Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea and L.L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 361-409.
- Younger, P.L., 2006. *Groundwater in the Environment*. Blackwell Publishing, United Kingdom. 318 p.
- Yu, X., Yang, J., Graf, T., Koneshloo, M., O'Neal, M.A. & Michael, H.A., 2016. Impact of topography on groundwater salinization due to ocean surge inundation. *Water Resources Research*, 52, 5794-5812.
- Zahid Zainal, Mad Nasir, S., Zainal Abidin, M. & Adam, S.U., 2012. Economic impact of climate change on the Malaysian palm oil production. *Trends in Applied Sciences Research*, 7, 872-880.
- Zainora Asmawi, M. & Ainaa Nawwarah, I., 2013. The perception of community on coastal erosion issue in Selangor, Malaysia. *Journal of Clean Energy Technologies*, 1(3), 164-168.

Manuscript received 9 September 2018

Revised manuscript received 1 December 2018

Manuscript accepted 2 December 2018