

PEMODELAN SPASIAL PROYEKSI KENAIKAN MUKA LAUT UNTUK ESTIMASI KERENTANAN KESEHATAN

(Spatial Modeling of Sea Level Rise Projections for Health Vulnerability Estimation)

oleh/by:

Dewayany Sutrisno¹, Rizka Windiastuti¹, Ibnu Sofyan¹ dan Dadan Ramdhani¹

¹Peneliti pada Balai Penelitian Geomatika BAKOSURTANAL

Jln Raya Jakarta – Bogor Km 46 Cibinong 16911, Tel 021 87906041

e-mail: dewayany@gmail.com, rizka.windiastuti@gmail.com, ibnusofian@gmail.com,
dadanramdani@yahoo.com

Diterima (received): 05 Oktober 2011; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 21 November 2011

ABSTRAK

Kenaikan muka laut menimbulkan dampak pada keberadaan sumberdaya alam, maupun sumberdaya manusianya. Pemunduran garis pantai (*shoreline retreat*) dan penggenangan pada wilayah-wilayah rentan merupakan dampak ke depannya. Permasalahan wilayah pesisir lainnya, seperti penurunan muka tanah (*land subsidence*), rob, gelombang pasang, serta banjir, dapat memperburuk dampak kenaikan muka laut, terutama bagi kesejahteraan penduduknya. Oleh karena itu, dengan mengambil studi area di Teluk Jakarta, perlu dikembangkan model spasial estimasi dampak kenaikan muka laut pada kerentanan kesehatan penduduk wilayah pesisir. Model dikembangkan berdasarkan formulasi pemunduran garis pantai (*shoreline retreat model*) yang telah dikembangkan oleh Sutrisno (2005) dengan parameter permasalahan lingkungan dan sosial lainnya. Estimasi dikembangkan dalam tiga skenario, yaitu rendah, sedang dan tinggi (*low impact, moderate dan high*). Hasil yang diperoleh adalah model estimasi spasial kerentanan wilayah pesisir dari sisi kesehatan penduduk terhadap kenaikan muka laut selama minimal 20 tahun ke depan, sebagai input untuk model spasial skenario kebijakan (rekomendasi) yang harus dilaksanakan sebagai usaha mitigasi dan adaptasi.

Kata Kunci: Kenaikan Muka Laut, Kerentanan, Penyakit Infeksi

Sea level rise affects the existence of natural resources as well as human resources. Shoreline retreat and inundation on vulnerable areas are some impacts that can occur in the future. Other problems in coastal areas such as land subsidence, tidal wave, and tidal flood can worsen the effects of sea level rise, especially for the livelihood of people in the area. Therefore, it is necessary to develop a spatial model to estimate the impact of sea level rise to the health of population in the coastal area. The model was developed by taking a study area at Jakarta Bay, based on shoreline retreat model that was developed by Sutrisno (2005) using environmental and social problems as the parameters. The estimation is extended in three scenarios, which are low, moderate, and high impact. The expected result is a spatial model estimation of the vulnerability of population's health due to sea level rise for at least 20 years ahead, as an input to a spatial model of recommendation scenario that has to be performed as mitigation and adaptation efforts.

Keywords: Sea Level Rise, Vulnerability, Infectious Disease

PENDAHULUAN

Fenomena pemanasan global (*global warming*) menimbulkan dampak yang nyata bagi masyarakat dunia pada umumnya. Kenaikan muka laut (*Sea level rise*) merupakan salah satunya. Kenaikan muka laut yang berdampak pada pemunduran garis pantai (*shoreline retreat*) dan penggenangan (*inundation*) secara tidak langsung dapat berdampak pada kesehatan manusia. Terlebih lagi pada wilayah perkotaan padat penduduk, seperti Jakarta, yang sanitasinya masih menjadi permasalahan utama. Introduksi spesies-spesies baru ke dalam wilayah pesisir yang disebabkan perubahan iklim, semakin memperburuk kelangsungan kehidupan manusia sejalan dengan terjadinya fenomena kenaikan muka laut. Pembangunan ekonomi dan kemiskinan semakin memperburuk kondisi lingkungan yang rentan terhadap fenomena alam ini. Oleh karena itu dibutuhkan pemahaman dan kesadaran seluruh pihak untuk mengurangi atau mencegah dampak dari fenomena alam dan pengrusakan lingkungan ini.

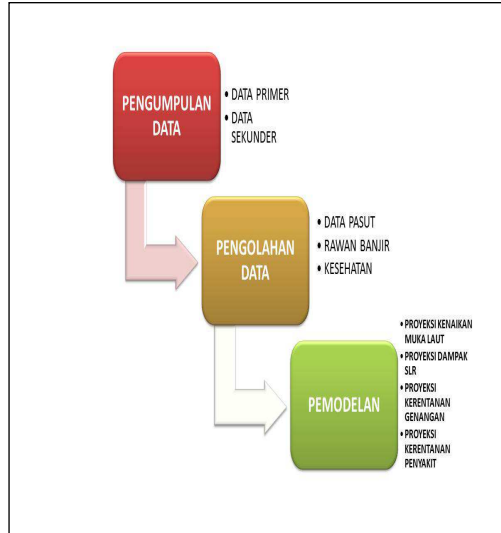
Jakarta sebagai kota pesisir yang mengalami pertumbuhan sosial ekonomi demikian pesat tidak akan luput dari fenomena alam seperti kenaikan muka laut yang bersinergi dengan tekanan aktivitas sosial ekonomi manusia maupun permasalahan lingkungan lainnya. Untuk memitigasi masalah ini, diperlukan suatu simulasi (model) berbasis spasial yang dapat memprediksikan dampak kenaikan muka laut pada wilayah pesisir di masa yang akan datang. Melalui pemodelan ini yang digabungkan dengan permasalahan rutin yang dihadapi Jakarta seperti banjir, dapat diperkirakan wilayah yang rentan terhadap kesehatan manusia, sehingga pemerintah dapat mengambil kebijakan yang tepat untuk meningkatkan kesejahteraan penduduk di wilayahnya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan suatu model yang dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan dampak dari naiknya muka laut pada

permasalahan lingkungan di Kota Jakarta serta pengaruhnya pada kesehatan penduduk wilayah pesisir.

METODE

Secara garis besar tahapan penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Pelaksanaan Riset

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilaksanakan pada awal penelitian guna mengumpulkan data spasial dan atribut lainnya yang dibutuhkan.

Pengolahan Data

- Pengolahan data pasut yang didasarkan pada data pasut stasiun Tanjung Priok tahun 1984 – 2011. Pengolahan ini dimaksudkan untuk mencari informasi kecenderungan kenaikan muka laut tahunan.
- Pengolahan data banjir, dalam hal ini data banjir diolah menjadi data rawan banjir dimana daerah yang terus menerus tergenang pada waktu musim hujan dimasukan ke dalam kriteria **sangat rawan** dan yang tidak rutin dimasukan ke dalam kelas **cukup rawan**.

C. Pengolahan data penyakit untuk memetakan wilayah-wilayah yang rawan terhadap penyebaran penyakit infeksi yang dalam hal ini difokuskan pada diare dan demam berdarah (*dengue*). Data spasial penyakit ini kemudian diklasifikasikan dalam **kelas rawan, cukup rawan** dan **kurang rawan** melalui metode *scoring* dan dapat dinyatakan dalam ;

$$\text{Kelas kerawanan } (R_d) = f(\text{ratio kejadian}_{(t)}, \text{delta kejadian}_{(t)}, \text{fatal}_{(t)}) \dots (1)$$

Dengan nilai *scoring* untuk rawan masing masing 100, untuk cukup rawan 80 dan kurang rawan 50.

Pemodelan

Data yang diolah ini merupakan dasar untuk pemodelan.

Pemodelan Proyeksi Kenaikan Muka Laut

Untuk pemodelan proyeksi kenaikan muka laut menggunakan persamaan Ding *et al* (2002) sbb:

$$Z_{(t)} = Z_0 + at + \sum_1^k c_k \sin(2\pi t / p_k + q_k) \dots (2)$$

di mana

Z_0 : muka laut rata-rata selama t bulan pengamatan,
 a : kecenderungan kenaikan muka laut,
 t : waktu (bulan)
 c_k, p_k dan q_k : periode, *amplitudes* dan *phase* pasut pada k tahun

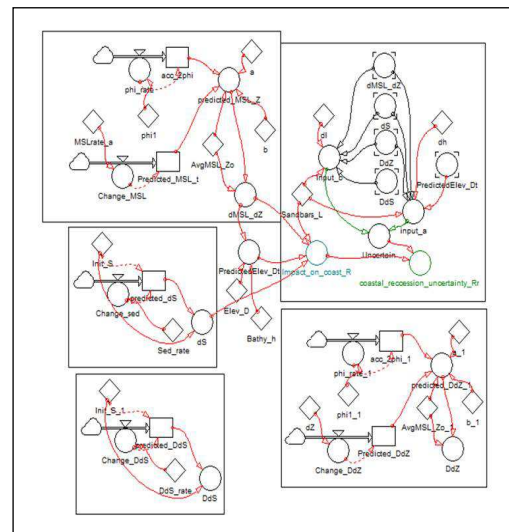
Pemodelan Proyeksi Dampak Kenaikan Muka Laut

Pemodelan proyeksi dampak kenaikan muka laut menggunakan persamaan *shoreline retreat model* Sutrisno (2005) sebagai berikut:

$$R = [(\Delta Z - \Delta S)L] / (h + D + \Delta Z)^{-1} \dots (3)$$

di mana:

- R = pemunduran garis pantai (m)
- ΔZ = kenaikan muka laut (m)
- ΔS = perubahan akumulasi sedimentasi, yang dihitung secara terpisah berdasarkan pengamatan lapangan (m)
- L = panjang daerah pesisir yang masih dipengaruhi oleh proses sedimentasi sampai *delta front* (m)
- H = kedalaman pada L (m)
- D = elevasi (m)



Gambar 2. Pemodelan Dampak Kenaikan Muka Laut Wilayah Pesisir

Pemodelan Proyeksi Kerentanan Terhadap Penyakit

Asumsi yang diambil dalam pemodelan ini adalah daerah yang beresiko terhadap genangan yang terjadi akibat kenaikan muka laut dan banjir, rawan terhadap penyakit (dari data kerawanan) dan termasuk ke dalam wilayah kumuh. Sehingga pemodelan ini dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 4.

$$\text{Resiko Penyakit } (RP) = f(\text{resiko genangan}_{(t)}, \text{kumuh}, \text{rawan penyakit}) \dots (4)$$

Metode *scoring* juga digunakan dalam analisa spasial proyeksi ini, dimana informasi resiko dibagi ke dalam tiga kelas yaitu **high risk**, **medium risk** dan **low risk**, dengan nilai 100 untuk rentan genangan, 80 untuk cukup rentan, 100 untuk genangan akibat kenaikan muka laut; 100 untuk kumuh, 10 untuk non kumuh; 100 untuk rawan penyakit, 80 untuk cukup rawan penyakit dan 50 untuk kurang rawan penyakit).

HASIL DAN PEMBAHASAN

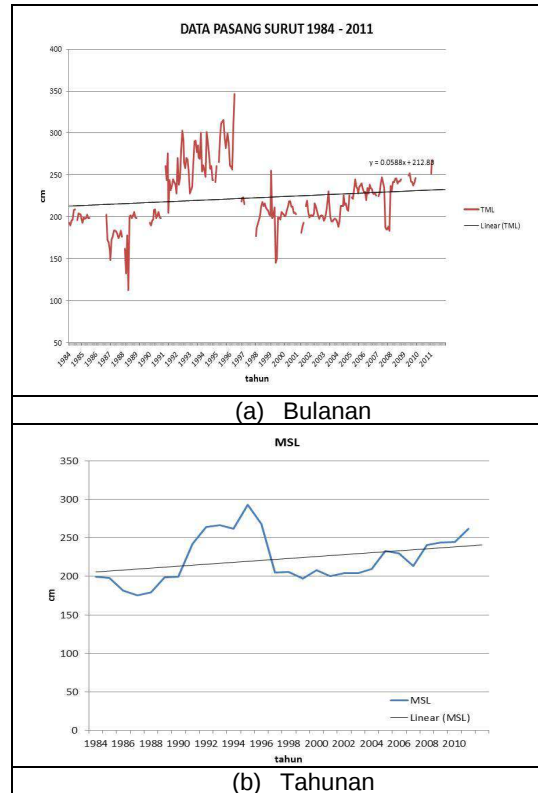
Proyeksi Kenaikan Muka Laut dan Dampaknya pada Wilayah Pesisir

Wilayah pesisir utara Jakarta merupakan wilayah yang sangat rentan terhadap fenomena kenaikan muka laut. Berdasarkan analisa data pasang surut dari Stasiun Tanjung Priok yang diolah dengan menggunakan *least square linier regression* terhadap nilai distribusi *bivariate* selama 27 tahun pengamatan (1984 – 2010), memperlihatkan adanya kecenderungan kenaikan muka laut di perairan Teluk Jakarta, yaitu sekitar 0,71 cm/tahun. Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 3(a)**, kecenderungan kenaikan muka laut berdasarkan data pasut bulanan dan **Gambar 3(b)** yang memperlihatkan data kecenderungan kenaikan muka laut tahunan.

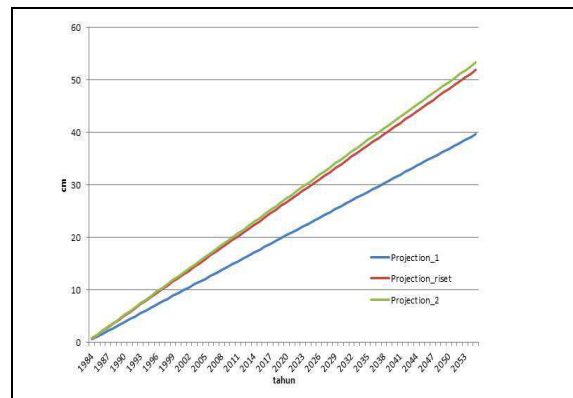
Permasalahan kenaikan muka laut bukan merupakan permasalahan tunggal yang mengancam pesisir Teluk Jakarta. Penurunan muka tanah (*land subsidence*) juga merupakan ancaman lainnya yang harus diperhitungkan, dimana fenomena yang disebabkan oleh aktivitas sosial ekonomi masyarakat yang berkaitan dengan *ground water discharge* ini menyebabkan terjadinya kenaikan muka laut relatif, yang fenomenanya juga dapat ditunjukkan pada kedua grafik tersebut pada **Gambar 3**.

Melihat pada kecenderungannya yang terus meningkat, proyeksi kenaikan muka laut hingga tahun 2050 menunjukkan kemungkinan kenaikan muka laut sebesar

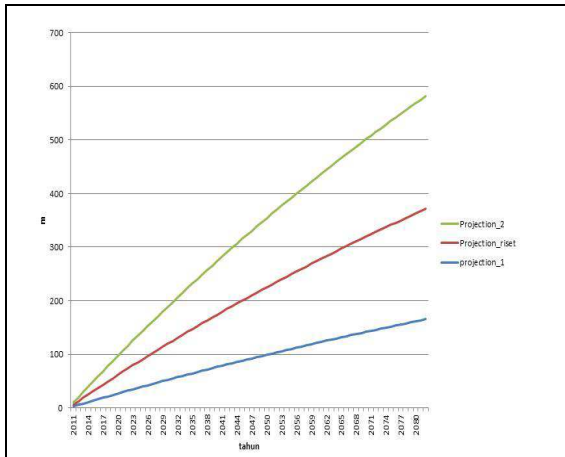
48,3 cm, yang posisinya berada pada kisaran kajian proyeksi kenaikan muka laut sebelumnya (Sutrisno, 2005) dan (Susandi, 2008).



Gambar 3. Grafik Kecenderungan Kenaikan Muka Laut (1984 – 2011)



Gambar 4. Proyeksi Kenaikan Muka Laut Hingga Tahun 2080 pada 3 Skenario (A) Hasil Riset, (B) Susandi (2008) dan Sutrisno (2005)



Gambar 5. Proyeksi Pemunduran Garis Pantai Hingga Tahun 2080 pada 3 Skenario

Sedangkan dampak yang ditimbulkannya dengan menggunakan pemodelan pemunduran garis pantai/*shoreline retreat* yang menyebabkan terjadinya penggenangan (inudasi) pada wilayah pesisir yang rendah dapat dilihat pada **Gambar 5**, dengan menggunakan ketiga skenario hasil analisa kenaikan muka laut tersebut di atas. Proyeksi spasial dampak kenaikan muka laut simulasinya dapat dilihat pada **Gambar 6**, yang memperlihatkan bahwa tanpa adanya perlakuan yang berarti wilayah pesisir Jakarta Utara akan terendam air laut pada 60 tahun ke depan, hal ini tentu saja akan berdampak pada sendi-sendi pembangunan sosial dan ekonomi di wilayah ini. Bahkan pada kondisi ekstrim, dimana kenaikan muka laut diperkuat dengan penurunan muka tanah pada wilayah daratannya, dampaknya dapat meluas hingga ke wilayah yang relatif rendah dengan ketinggian kurang dari 1 meter dari permukaan laut.

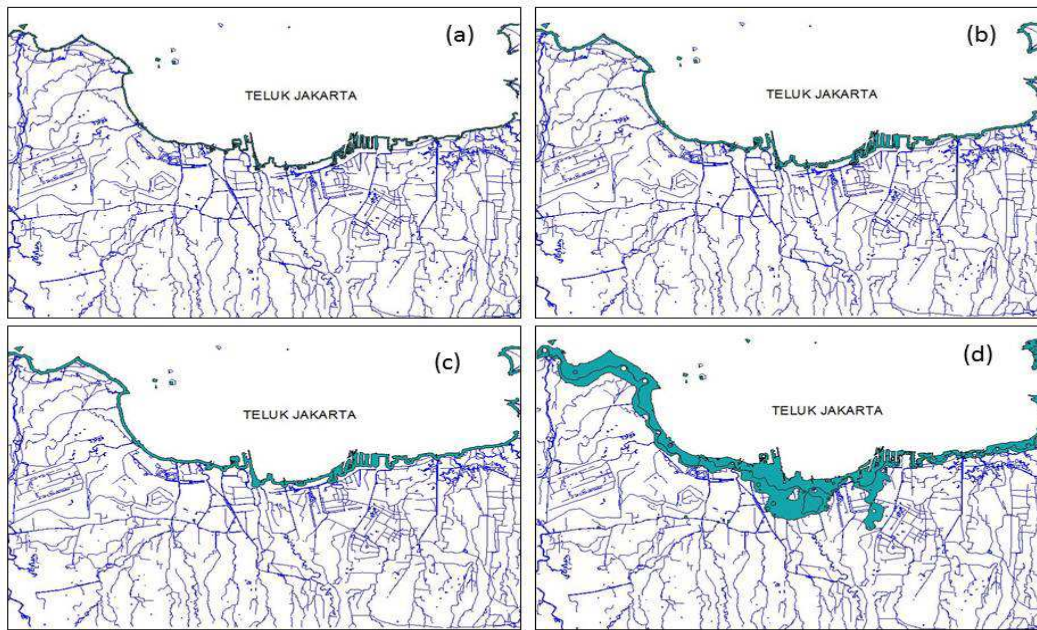
Proyeksi Dampak Kenaikan Muka Laut pada Kesehatan

Roda perekonomian di kawasan Jakarta Utara digerakan oleh adanya pelabuhan, obyek wisata, industri, perdagangan dan jasa, dimana hal ini tidak menyusutkan adanya pemukiman kumuh di sekitarnya.

Sedangkan peruntukan kawasan Jakarta Utara sedianya adalah untuk:

- Kawasan Perumahan diarahkan pada Kecamatan Penjaringan, Koja, Tanjung Priok, Pademangan dan Kecamatan Kelapa Gading.
- Kawasan Perdagangan/Jasa dan Perkantoran untuk mendukung Kota Jakarta sebagai *service city*, diarahkan pada lokasi Kawasan Pasar Pagi Mangga Dua di Kel. Ancol, Pelabuhan Tanjung Priok dan Kawasan Pantai Utara Jakarta (*waterfront city*) di Kecamatan Penjaringan dan Kecamatan Pademangan. Kawasan jasa perkantoran pada lokasi Koridor Jalan Laksamana Yos Sudarso di Kecamatan Koja dan Kecamatan Tanjung Priok serta Koridor Jalan RE Martadinata di Kecamatan Pademangan.
- Kawasan Industri dan Pergudangan diarahkan pada lokasi:
 - Kawasan industri di Kel. Kamal Muara dan Kelurahan Penjaringan, Kec. Penjaringan.
 - Kawasan Pelabuhan Nusantara di Kec. Tanjung Priok.
 - Kawasan Berikat Nusantara di Kel. Sukapura, Kawasan PPL Marunda di Kel. Kali Baru Kec. Cilincing.
 - Kawasan industri dan pergudangan di wilayah pantai Jakarta Utara di Kec.n Cilincing dan Koja.
 - Kawasan industri sepanjang Jalan Pegangsaan Dua di Kec. Kelapa Gading.

Kontradiksi peruntukan di atas dengan lingkungan kumuh dapat dilihat pada beberapa wilayah di Kawasan Jakarta Utara dimana terdapat lingkungan kumuh (**Gambar 7**) yang antara lain dapat dijumpai di sekitar Kelurahan Penjaringan, Penjagalan, Ancol, Pademangan timur dan barat, Sunter Agung, Sunter Jaya, Papango, Tanjung Priok, Warakas, Kebun Bawang, Sungai Bambu, Koja, Rawa Badak Selatan dan Utara, Lagoa, Semper Barat dan Timur, Cilincing, Rorotan.



Gambar 6. Simulasi Proyeksi Kenaikan Muka Laut hingga tahun 2080

Kondisi lingkungan kumuh ini sangat beragam, mulai dari bangunan permanen hingga tenda-tenda darurat, dengan sarana prasarana meliputi gang-gang sempit berlapis semen dengan fasilitas MCK hingga tidak ada sarana sama sekali.

Pada musim hujan daerah ini kerap lembab dan dingin dengan genangan air di sekitarnya dan bahkan kerap menjadi langganan banjir setiap tahunnya. Penduduk pada lingkungan ini umumnya mempunyai penghasilan dan fasilitas penopang kehidupan yang berada di bawah garis kemiskinan meskipun ada beberapa di antaranya yang tidak memenuhi kriteria miskin.

Dengan asumsi bahwa penduduk miskin yang berdiam pada lingkungan yang tidak layak dan fasilitas sanitasi rendah, merupakan lingkungan yang beresiko tinggi terhadap adanya bencana banjir, maka dapat dianalisa sebaran spasial resiko banjir dan genangan yang sudah dan akan terjadi pada lingkungan ini.

Pemodelan spasial resiko bencana banjir pada penduduk miskin di kawasan

Jakarta Utara dapat dilihat pada **Gambar 8(a)** yang antara lain mencakup kawasan kumuh di Kelurahan Kebun Bawang, Warakas, Tanjung Priok, Sungai Bambu dan Sunter yang mempunyai kerentanan tinggi terhadap bencana banjir ini.

Sementara itu proyeksi kenaikan muka laut terhadap bencana banjir apabila tidak ada tindakan yang signifikan dari pemerintah maupun masyarakat terhadap fenomena ini menunjukkan bahwa ke depannya bencana ini juga dapat berakibat fatal bagi mereka yang hidup di lingkungan elit dan areal perkantoran/ bisnis seperti dapat dilihat pada **Gambar 8(b)**. Meskipun resiko terparah akan dihadapi mereka yang berada di lingkungan kumuh dengan keterbatasan kemampuan sosial dan ekonomi mereka.

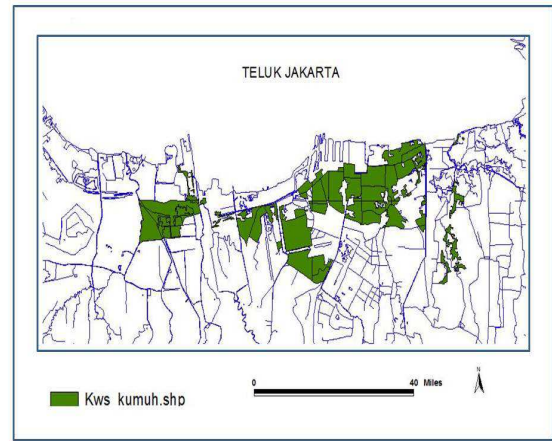
Proyeksi Kenaikan Muka Laut dan Dampaknya pada Kesehatan

Dengan mengambil kasus dua penyakit infeksi yang disebabkan oleh adanya genangan yaitu demam berdarah (DBD) dan diare, hasil analisa sebaran penyakit menular yang diperoleh dari

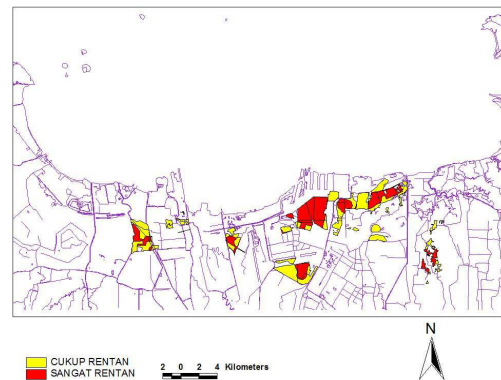
rumah sakit dan puskesmas di wilayah Jakarta Utara memperlihatkan sebaran wilayah-wilayah yang rawan terhadap sebaran penyakit ini (**Gambar 9a-b**), yang ternyata tidak hanya mencakup kawasan kumuh saja. Terlihat pada gambar ini bahwa seluruh wilayah pesisir Jakarta Utara rawan terhadap sebaran penyakit ini dengan kategori tinggi hingga sedang. Wilayah yang sangat rentan terhadap penyakit ini antara lain Kelurahan Pluit, Pejagalan, Kapuk Muara, Ancol, Koja, Kalibaru, Cilincing, Marunda, Tugu Utara dan Kelapa Gading Barat dan Timur untuk demam berdarah dan Kamal Muara, Ancol, Tj. Priok, Lagoa, Sukapura, dan Kelapa Gading Barat untuk diare. Rasio kejadian per jumlah penduduk yang cukup tinggi dengan kecenderungan meningkat dalam tiga tahun terakhir hingga menimbulkan kematian menjadi kriteria untuk mengkaji tingkat kerawanan suatu wilayah terhadap kedua penyakit ini.

Analisa dengan menggunakan wilayah kumuh sebagai wilayah yang paling beresiko terhadap penyakit dan genangan memperlihatkan adanya keterkaitan antara komponen genangan dengan kedua penyakit ini (**Gambar 10 a-b**). Sementara melalui proyeksi dampak perluasan genangan karena adanya fenomena kenaikan muka laut terhadap daerah beresiko penyakit memperlihatkan meluasnya wilayah wilayah yang beresiko terkena penyakit (**Gambar 11**)

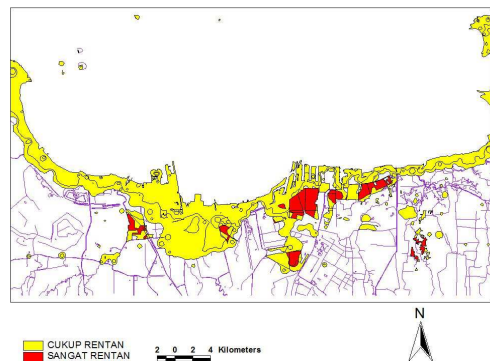
Sementara itu dalam kondisi *Bisnis as Usual* (BAU) ancaman kedua penyakit infeksi ini tidak hanya terjadi di wilayah-wilayah kumuh saja tapi mencakup wilayah menengah ke atas lainnya, yang ternyata kerentanannya mencakup hampir seluruh wilayah pesisir Jakarta Utara (**Gambar 12**).



Gambar 7. Sebaran Lingkungan Kumuh

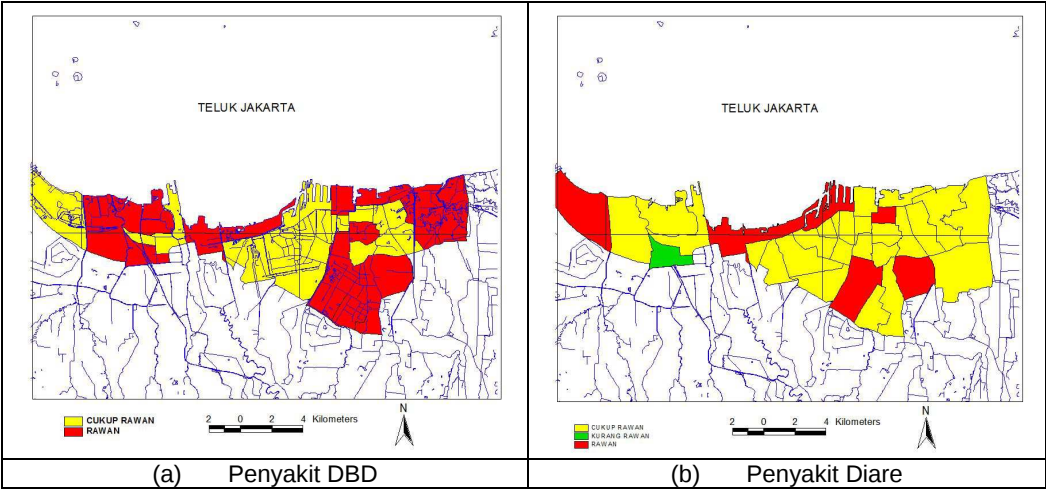


(a) Daerah Resiko Banjir

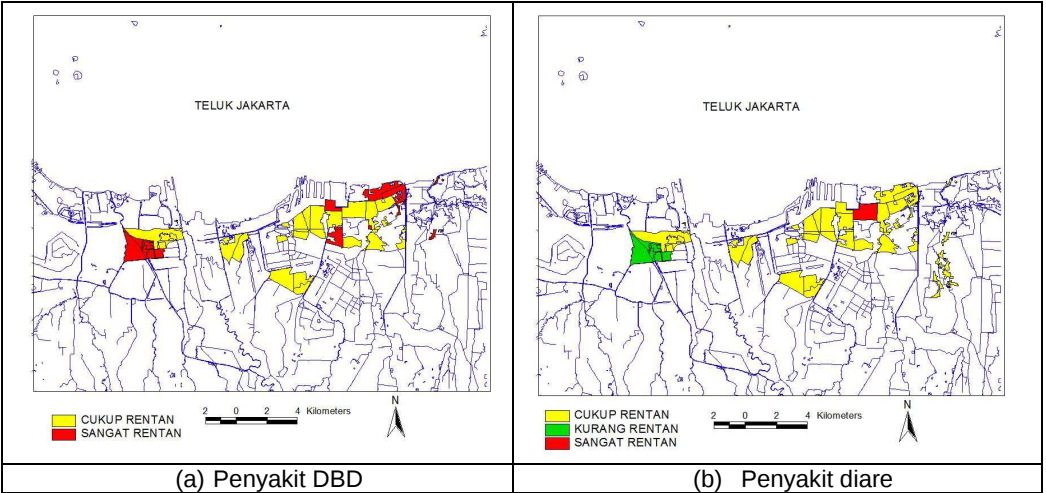


(b) Simulasi Proyeksi Resiko Kenaikan Muka Laut

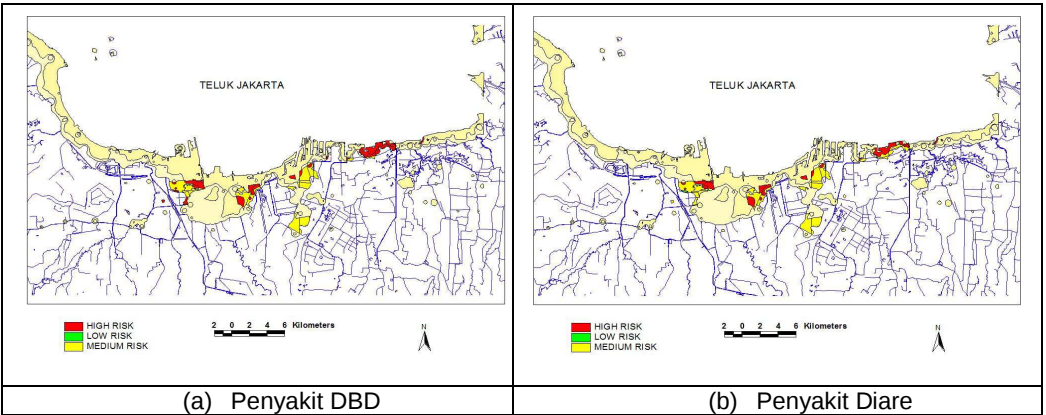
Gambar 8. Daerah Resiko Banjir Aktual dan Simulasi



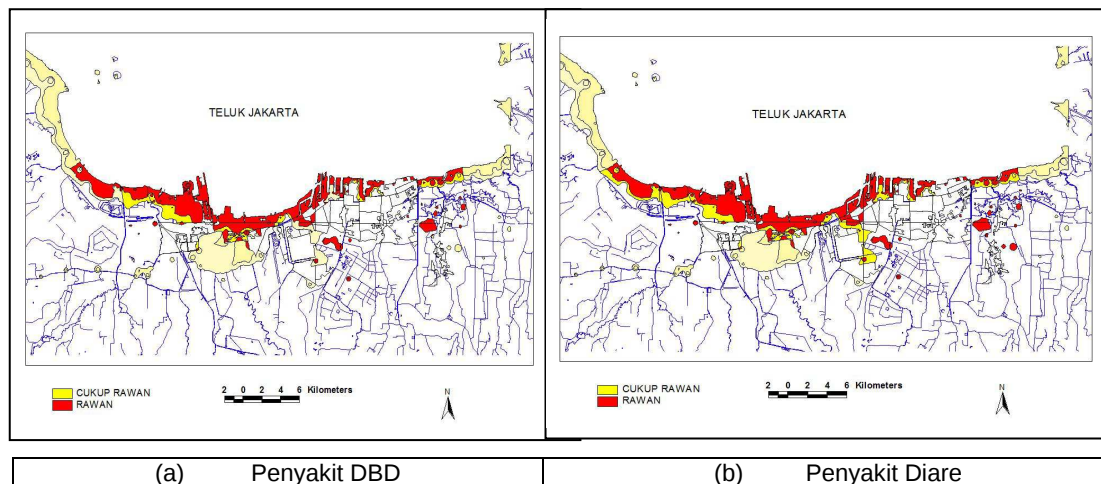
Gambar 9. Daerah Rawan Penyakit di Jakarta Utara



Gambar 10. Daerah Resiko Penyakit di Jakarta Utara



Gambar 11. Simulasi Proyeksi Daerah Resiko Penyakit dengan Adanya Fenomena Kenaikan Muka Laut



Gambar 12. Simulasi Proyeksi Daerah Rawan Penyakit dengan Adanya Fenomena Kenaikan Muka Laut pada Kawasan Menengah ke Atas

Sementara itu, analisa penyakit diare pada daerah rentan rawan memperlihatkan adanya kecenderungan penurunan serangan diare pada balita. Hal ini disebabkan adanya kesadaran masyarakat terutama pada daerah rentan untuk menjaga kebersihan lingkungan. Berdasarkan hasil survei Susesnas 2010 diperoleh bahwa ada sekitar 43% penduduk yang sudah menjaga perilaku hidup bersih. Ini berarti masih lebih dari separuh penduduk pada lingkungan kumuh ini belum meningkatkan taraf hidup mereka menuju hidup sehat, hal mana mendukung analisa kerentanan wilayah ini terhadap penyakit dan adanya penambahan genangan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Jakarta merupakan wilayah yang sangat rentan akan fenomena kenaikan muka laut, yang disebabkan kenaikan muka laut *eustatic* dan perilaku sosial masyarakat yang berkaitan dengan pemanfaatan air tanah yang terus meningkat, yang berdampak pada penurunan muka tanah.

- Kenaikan muka laut *eustatic* dan kenaikan muka laut *relative* yang disebabkan oleh penurunan muka tanah menyebabkan kenaikan muka laut rata rata 0,71 cm per tahun.
- Apabila tidak ada usaha pencegahan, kenaikan muka laut ini akan memperburuk bahkan memperluas wilayah-wilayah di Jakarta Utara yang memang sudah rawan banjir. Proyeksi kenaikan muka laut yang dapat berakibat pada pengenaan memperlihatkan bahwa pada 70 tahun mendatang diperkirakan wilayah laut akan menggenangi daratan hingga 201 meter ke dalam wilayah daratannya.
- Wilayah Jakarta Utara hampir di sepanjang pesisirnya merupakan wilayah yang rentan terhadap penyakit yang disebabkan oleh genangan seperti diare dan *dengue* atau demam berdarah. Resiko tertinggi dihadapi oleh mereka yang berdiam di daerah kumuh.
- Kenaikan muka laut tidak berdampak langsung pada peningkatan benih penyakit, khususnya demam berdarah.

- Pemodelan dampak kenaikan muka laut pada kesehatan dapat menjadi suatu *early warning system* bagi pemerintah dan masyarakat setempat guna melaksanakan usaha-usaha pencegahan bencana.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang mengkaji fenomena perubahan iklim dengan peningkatan benih-benih penyebab penyakit, seperti nyamuk dan lalat.

DAFTAR PUSTAKA

- IPCC. 2001. Future Projection of Climate Change. <http://www.ucl.ac.uk/ucta/ucta.htm>
- IPCC. 2007. The Physical Science Base: Contribution of Working Group I to Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. Cambridge.
- Jakarta Coastal Defence Strategy (JCDS). 2011. 2030 Tanah Jakarta Drop 6,6 Meter. VIVAnews. <http://metro.vivanews.com/news/read>
- Sutrisno, D., 2005. *Dampak Kenaikan Muka Laut pada Pengelolaan Delta: Studi Kasus Penggunaan Lahan Tambak di Pulau Muara Ulu Delta Mahakam*. Disertasi. IPB Bogor 2005.
- Susandi, Ami. 2008. *Pengaruh Kenaikan Muka Laut dan Gelombang Pasang pada Banjir Jakarta*. Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Propinsi DKI Jakarta. Jakarta.
- Sofyan, Ibnu dan AB. Wijanarto. 2008. Proyeksi Kenaikan Tinggi Muka Laut di Jakarta Berdasarkan Skenario IPCC AR4. *Jurnal Ilmiah Geomatika*. Vol 14 No 2 Desember 2008, pp 71 – 80.