

T	A	T	A
L	O	K	A

JURNAL TATA LOKA; VOLUME 13; NOMOR 2; MEI 2011
© 2011 Biro Penerbit Planologi UNDIP

POLA KERENTANAN PESISIR INDONESIA TERHADAP DAMPAK PERUBAHAN IKLIM SEBAGAI BASIS PERENCANAAN ADAPTASI

*Coastal Vulnerability Patterns Of Indonesia for The Climate Change Impact
As Planning Adaptation Basis*

**Djoko Santoso Abi Suroso, Tri Wahyu Hadi, Hamzah Latief,
dan Edi Riawan**

*Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota,
Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung
Email: dsuroso@pl.itb.ac.id*

Abstrak: Sebagian besar kawasan pesisir Indonesia merupakan wilayah yang diperkirakan rentan terhadap potensi rendaman (inundation) akibat kenaikan muka laut global. Rendaman ini diperkirakan akan mengakibatkan genangan permanen dan memperparah abrasi di kawasan pesisir di mana sejumlah besar populasi tinggal, juga terletak infrastruktur dan aset ekonomi penting serta kawasan wisata terkenal. Untuk mengantisipasi berbagai potensi dampak merugikan tersebut, maka diperlukan perencanaan adaptasi perubahan iklim. Agar tercapai perencanaan adaptasi yang tepat dan efektif sesuai dengan karakteristik persoalan di masing-masing wilayah, maka terlebih dahulu perlu dikenali berbagai pola kerentanan pesisir. Untuk mengenali pola kerentanan pesisir maka perlu dikenali kemiripan karakteristik tertentu yang dicerminkan dari sekumpulan indikator. Untuk itu dibutuhkan suatu metode analisis yang mampu mengklasifikasikan informasi ke dalam suatu kelompok berdasarkan karakteristik tertentu, yaitu metoda cluster. Dengan menggunakan metode cluster dan melalui eksperimen yang iteratif, kajian ini telah berhasil mengidentifikasi pola-pola kerentanan pesisir terhadap rendaman akibat kenaikan muka laut global. Eksperimen menyimpulkan bahwa terdapat lima indikator yang benar-benar mengendalikan pola kerentanan pesisir, yaitu luas rendaman, infrastruktur, kepadatan penduduk, luas kawasan terbangun dan kawasan non-permukiman. Kajian ini juga menyimpulkan bahwa dari 325 kabupaten/kota di kawasan pesisir Indonesia dapat dikelompokkan menjadi enam pola kerentanan. Dua puluh tiga kabupaten/kota diantaranya (7,07%) dapat diklasifikasikan sebagai cluster yang sangat rentan, yang secara umum dikarakterisasi sebagai nilai rasio rendaman yang tinggi, nilai infrastruktur yang tinggi, nilai kepadatan penduduk yang tinggi, nilai kawasan permukiman yang tinggi, dan nilai kawasan non-permukiman yang rendah. Dengan demikian, beberapa aksi adaptasi yang mungkin dilakukan adalah pengendalian penduduk, revisi tata ruang pesisir, dan penyesuaian ketinggian infrastruktur.

Kata Kunci: Perencanaan Adaptasi, Pola Kerentanan, Kenaikan Muka Laut Global

Abstract: Most part of Indonesian coastal areas are vulnerable to inundation potential due to global sea level rise. This inundation is predicted to cause permanent flood and worsen abrasion along coastal zone where many populations live, also will threaten important infrastructures and economic assets, as well as well known tourism areas. To anticipate these various harming potential impacts, planning of adaptation to climate change is needed. In order to achieve the appropriate and effective adaptation planning, coastal

vulnerability pattern needs to be recognized first, so that to suit the region's characteristics. To recognize this coastal vulnerability pattern, certain similar characteristics need to be found represented by a group of indicators. Therefore, a method of analysis which is able to classify information into a certain group based on several similar characteristics is needed, that is so called as cluster method. By using cluster method and through iterative experiments, this study has succeeded in identifying coastal vulnerability patterns to inundation caused by global sea level rise. The experiments concluded that there are five indicators which clearly control the coastal vulnerability pattern; they are inundation area, infrastructures, population density, built area, and non-settlement area. This study also concludes that of the 325 districts/cities on Indonesian coastal, they can be classified into six patterns of vulnerability. Twenty three districts/cities among them (7.07%) are classified as highly vulnerable cluster, which generally characterized as high inundation ratio value, high infrastructures value, high population density value, high settlement areas value, and low non-settlement areas value. Thus, several adaptation options consist of population control, revision of coastal spatial plans, and adjustment of infrastructures.

Keywords: Adaptation Planning, Vulnerability Pattern, Global Sea Level Rise

PENDAHULUAN

Sebagian besar kawasan pesisir Indonesia merupakan wilayah yang diperkirakan rentan terhadap dampak perubahan iklim global; khususnya potensi rendaman (*inundation*) akibat kenaikan muka laut global. Rendaman pesisir ini diperkirakan akan mengakibatkan genangan permanen dan memperparah abrasi di kawasan pesisir di mana sejumlah besar populasi tinggal (sekitar 50-60% dari populasi total). Infrastruktur dan aset ekonomi penting juga terletak di kawasan pesisir. Misalnya, terdapat sekitar 968 pelabuhan perikanan yang dibangun tanpa memperhitungkan proyeksi kenaikan muka laut. Banyak juga kawasan wisata terkenal, buatan maupun alami, terletak di kawasan pesisir.

Perencanaan adaptasi untuk menangani perubahan iklim harus berbasis kajian risiko yang tepat, yang memperhitungkan analisis bahaya dan kerentanan wilayah. Namun, analisis kerentanan di kawasan pesisir menjadi sangat rumit karena terdapat *multiple pressures*, dan saling berkaitan antar berbagai skala, dari lokal sampai global. Akan tetapi, jika dianalisis secara lebih cermat, terlihat bahwa terdapat suatu pola kerentanan tertentu di berbagai tempat di seluruh dunia. Oleh karena itu, untuk mengenali adanya pola kerentanan tertentu tersebut maka perlu dikenali kemiripan karakteristik tertentu yang dicerminkan dari sekumpulan indikator. Pengenalan pola kerentanan ini penting dalam rangka merumuskan kebijakan adaptasi perubahan iklim yang tepat.

Kajian-kajian tentang pola kerentanan telah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti. O'Brien *et al* (2004) menitikberatkan kajiannya pada kerentanan sektor pertanian India dan ketergantungannya kepada pasar dunia, pada iklim

yang sedang berubah, dengan menggunakan sejumlah indikator yang memiliki keterkaitan antar indikatornya. Dari kajian tersebut disimpulkan bahwa isu perubahan iklim dapat mengancam ketahanan pangan akibat tekanan pasar pada komoditas *bio-energy*. Kajian lainnya oleh PBL (2009) menitikberatkan pada identifikasi pola tipikal kerentanan dunia, menggunakan suatu klasifikasi dari beberapa indikator yang dianggap relevan sebagai determinan, tetapi tidak mempertimbangkan iklim secara eksplisit, sedangkan Schellnhuber *et al* (1997) mengkaji pola perubahan global pada skala kerumitan tingkat menengah.

Beberapa kajian pola kerentanan global menggunakan pendekatan *archetype*¹. Suatu *archetype* dari kerentanan didefinisikan sebagai suatu pola spesifik yang merupakan representatif interaksi antara perubahan lingkungan dengan kesejahteraan manusia. *Archetype* tidak menjelaskan suatu situasi spesifik, namun lebih fokus pada sifat umum yang paling penting dari berbagai kasus yang "*archetypical*." Pendekatan ini diinspirasi oleh *syndrome approach*, yang memperhatikan adanya pola yang tidak berkelanjutan dari interaksi antara manusia dan lingkungan, dan memperlihatkan dinamika dibalik interaksi tersebut. Pendekatan *archetype* jauh lebih luas, karena memperhitungkan peluang yang ditawarkan oleh lingkungan untuk mengurangi

¹ *Archetype* adalah suatu pendekatan analisis pola kerentanan berdasarkan pemahaman bahwa kerentanan di berbagai tempat adalah serupa, sehingga menciptakan kondisi dan mekanisme yang dapat dikarakterisasi (Jaeger *et al*, 2007).

kerentanan dan memperbaiki kesejahteraan manusia.

Sebagian besar analisis dan kajian ilmiah mengenai perubahan iklim di Indonesia difokuskan pada pemetaan kerentanan dan risiko, namun masih belum ada yang fokus pada kajian pola kerentanan itu sendiri. Sebagai negara besar dengan lebih dari 400 kabupaten/kota, kajian dampak perubahan iklim dan formulasi strategi adaptasi pada skala lokal akan memakan waktu yang sangat lama dan sumber daya yang tidak sedikit. Dengan demikian, maka dipandang perlu untuk mengklasifikasikan kerentanan ke dalam sejumlah pola, yang selanjutnya dapat dipelajari dengan lebih rinci.

Tujuan dari kajian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai pola kerentanan terhadap perubahan iklim di kawasan pesisir Indonesia. Walaupun kerentanan bersifat spesifik bagi konteks dan lokasi tertentu, elemen-elemen umum tertentu dapat diamati pada berbagai daerah, skala, dan konteks, oleh karena itu, pola kerentanan yang dikaji dalam *paper* ini diharapkan dapat merepresentasikan pola kerentanan yang aktual, dengan mempertimbangkan situasi biofisik dan sosio-ekonomi di Indonesia.

METODE, DATA, DAN LANGKAH-LANGKAH EKSPERIMEN ANALISIS CLUSTER

Analisis Cluster

Untuk mengidentifikasi pola kerentanan pesisir dibutuhkan suatu metode analisis yang mampu mengklasifikasikan informasi ke dalam suatu kelompok berdasarkan karakteristik tertentu. Salah satu metode analisis tersebut adalah analisis *cluster*. Analisis *cluster* merupakan alat analisis data untuk menyelesaikan masalah pengklasifikasian berdasarkan struktur dan karakteristik dari satu kelompok data *multivariate*.

Struktur dan karakteristik inilah yang dapat membantu peneliti dalam mengelompokkan suatu informasi yang sesuai dengan tujuan klasifikasi tersebut. Dalam kajian ini, analisis *cluster* diaplikasikan untuk memperoleh pola kerentanan kabupaten/kota di sepanjang pesisir Indonesia dari sejumlah indikator yang relevan.

Analisis *cluster* terdiri dari tiga bagian, yaitu analisis jarak, hubungan (*linkage*), dan dendrogram. Analisis jarak menggunakan tipe jarak *Euclidean* (d)

antara 2 atau lebih obyek untuk mengukur kemiripan karakteristik kerentanan kabupaten/kota berdasarkan data indikator (p , q) tertentu dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}$$

Misalnya, ketika akan dilakukan klasifikasi kabupaten/kota berdasarkan luasnya rendaman akibat kenaikan Tinggi Muka Laut (TML) dan tingkat kepadatan penduduk, maka p adalah rendaman dan q adalah kepadatan penduduk.

Dengan kata lain, analisis *cluster* adalah suatu cara untuk mengelompokkan sejumlah data berdasarkan kemiripan sejumlah indikator. Setiap kabupaten/kota dianggap sebagai titik di ruang vektor *Euclidean* dengan semua indikator kerentanan ternormalisasi melambangkan komponen vektornya. Kemiripan antar titik diukur dari jarak (besarnya resultan vektor) ke masing-masing kabupaten.

Pada langkah selanjutnya, suatu hierarki *cluster* dibangun menggunakan suatu aturan hubungan, di mana digunakanlah metode **Ward** untuk mendefinisikan *cluster* yang tipikal. Metode ini digunakan untuk menggabungkan kasus-kasus menjadi *cluster* sehingga variansi di dalam *cluster* dapat diminimalkan (lihat Gambar 1). Implementasi metode tersebut mengikuti mekanisme berikut ini:

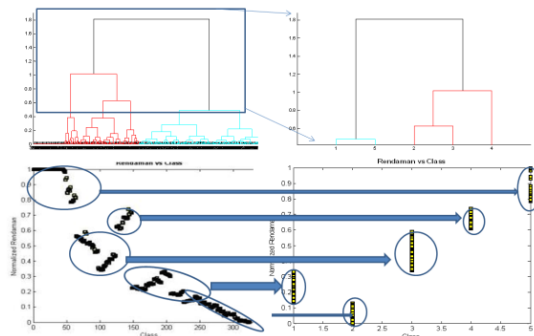
- Dimulai dari satu *cluster*.
- Dua *cluster* digabungkan, jika penggabungan ini menghasilkan kenaikan minimum pada jumlah kesalahan kuadratnya, maka kedua kluster tersebut dikatakan mirip.

Formulasi untuk menghitung besarnya kesalahan kuadrat tersebut adalah sebagai berikut:

$$d^2(r, s) = n_r n_s \frac{\|\bar{x}_r - \bar{x}_{rs}\|_2^2}{n_r + n_s}$$

di mana d adalah jarak *Euclidean* dan n adalah *centroid cluster* r dan s , seperti didefinisikan dalam *centroid linkage*.

Hasil dari analisis *cluster* ini kemudian diplot ke dendrogram. Gambar 1 mengilustrasikan dendrogram indikator kawasan rendaman pesisir. Dendrogram tersebut merepresentasikan distribusi jarak antar nomor identifikasi (ID) kabupaten.



Gambar 1. Ilustrasi Analisis Cluster Kawasan Rendaman (Kiri: ID Kabupaten, Kanan: Cluster Kabupaten)



Gambar 2. Data yang Digunakan

Pada dendrogram di atas, *cluster* semua kabupaten/kota dikelompokkan dengan melakukan suatu *cut off* sehingga hanya menjadi

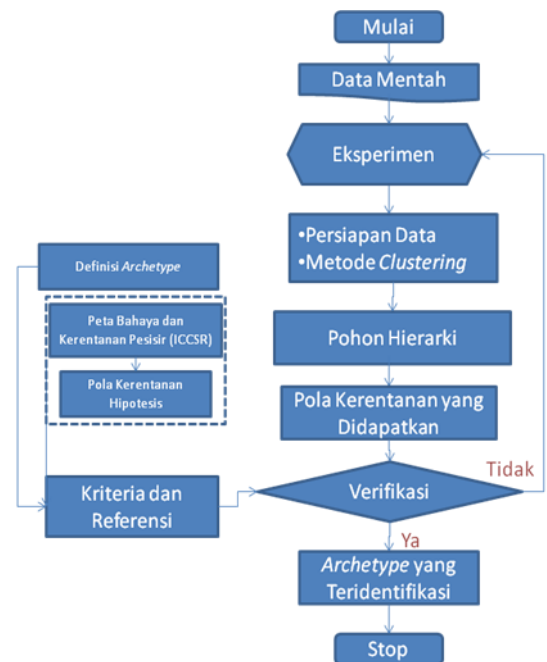
lima *cluster*. Gambar di bagian bawah menunjukkan hubungan pola *cluster* dari nilai yang sudah dinormalisasi dari indikator rendaman terhadap ID kabupaten (kiri) dan lima *cluster* akhir (kanan).

Persiapan data GIS

Data yang digunakan pada kajian ini berasal dari sumber yang berbeda-beda dan dalam berbagai format seperti dalam vektor, raster (*grid*), dan tabular. Untuk itu diperlukan pemrosesan data pendahuluan, antara lain melalui proses normalisasi dan agregasi sesuai unit analisisnya. Penjelasan lebih lanjut mengenai sumber data, juga prosedur pemrosesan data, dibahas pada bagian selanjutnya. Pemrosesan awal terhadap berbagai format data asal menghasilkan berbagai peta yang disajikan pada gambar 2.

Langkah-langkah Eksperimen

Sejumlah eksperimen dilakukan secara iteratif menurut bagan di bawah ini.



Gambar 3. Langkah-langkah Eksperimen

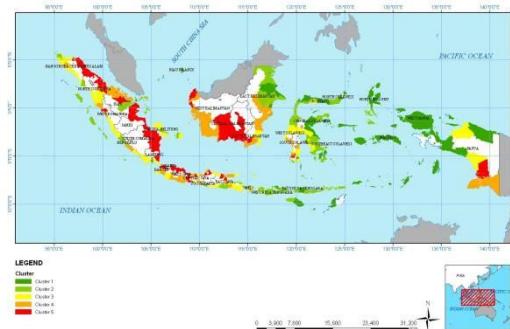
Pada dasarnya, proses iterasi ini terdiri dari persiapan data, metode *clustering*, pengembangan pohon *cluster* hirarki,

interpretasi peta pola kerentanan, dan verifikasi kualitatif menurut kriteria dan rujukan yang telah dibuat dalam pola kerentanan hipotesis. Pola-pola hipotesis ini dikembangkan dari peta bahaya dan kerentanan pesisir berdasarkan *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap* (2010). Pola kerentanan (*cluster* atau *archetype*) yang telah terverifikasi dapat dianggap sebagai hasil akhir dari kajian ini.

POLA KERENTANAN HIPOTESIS DARI KAWASAN PESISIR INDONESIA

Hipotesis ditentukan dari analisis kajian sebelumnya terhadap kerentanan kawasan pesisir di Indonesia, yaitu berdasarkan *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap (ICCSR) on Marine and Fisheries Sector* (Latief and Fitriyanto, 2009).

Untuk dapat membandingkan nilai risiko antar kabupaten yang terletak di pesisir, karena nilai tiap kabupaten bervariasi, rata-rata nilai risiko per kabupaten/kota dinormalisasi menggunakan panjang garis pantai tiap kabupaten/kota yang bersangkutan.



Gambar 4. Peta Pola Kerentanan Hipotesis

Normalisasi ini merepresentasikan proporsi kawasan pesisir terhadap kabupaten/kota. Hasilnya dapat dilihat di Gambar 4 di atas. Dari peta tersebut dapat disimpulkan bahwa secara hipotesis terdapat lima *cluster* (*achetype*) yang berasal dari lima tingkat risiko (lihat Gambar 5). Cluster tersebut merepresentasikan suatu kombinasi nilai dari lima indikator, yaitu kemiringan pesisir, ketinggian, guna lahan, infrastruktur, dan kepadatan penduduk yang digunakan di ICCSR. Misalnya, *cluster* 5 (risiko sangat tinggi) merepresentasikan kemiringan yang datar, elevasi yang rendah, guna lahan berupa

permukiman, infrastruktur penting yang padat, dan kepadatan penduduk yang tinggi.

	Kemiringan	Ketinggian	Guna Lahan	Infrastruktur	Kepadatan Penduduk
Cluster 1 (aman)	0,01	0,01	0,00	0,01	0,54
Cluster 2 (berisiko)	0,02	0,03	0,01	0,02	0,78
Cluster 3 (risiko menengah)	0,05	0,07	0,04	0,06	0,90
Cluster 4 (risiko tinggi)	0,14	0,15	0,11	0,18	0,97
Cluster 5 (risiko sangat tinggi)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Gambar 5. Tabel Karakteristik tiap Cluster

Dari peta pola kerentanan hipotesis tersebut, dapat diindikasikan bahwa:

- Tidak dapat diamati indikator kerentanan yang secara dominan mempengaruhi suatu tingkat risiko.
- Terdapat beberapa kabupaten/kota yang tidak memiliki pola kerentanan spesifik karena memiliki beberapa tingkat risiko sekaligus.

HASIL EKSPERIMEN

Agar mendapatkan pola kerentanan kawasan pesisir terhadap kenaikan muka laut, telah dilakukan sejumlah eksperimen dengan menerapkan metode yang berbeda-beda. Rincian masing-masing eksperimen dan hasilnya dibahas di bawah ini.

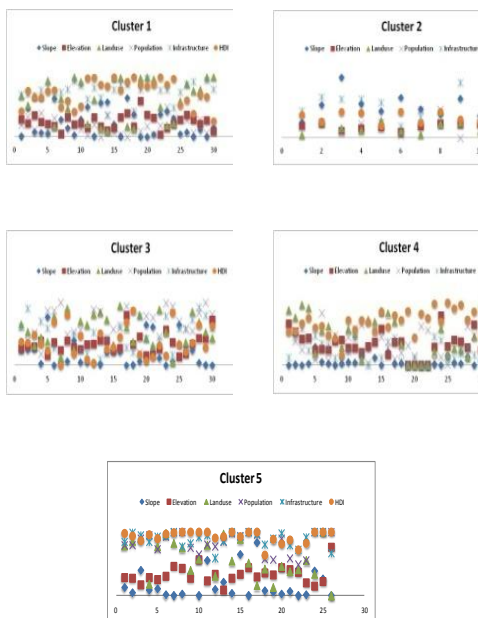
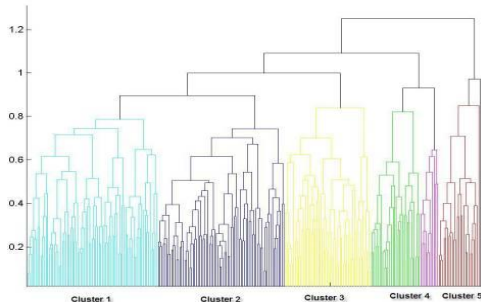
Eksperimen 1

Dalam eksperimen pertama, data untuk indikator fisis kerentanan dalam satuan piksel diubah menjadi satuan kabupaten/kota. Indikator fisis terdiri dari: indeks ketinggian pesisir, indeks kemiringan pesisir, indeks guna lahan, dan indeks infrastruktur. Indikator sosio-ekonomi, yang juga digunakan dalam percobaan ini, terdiri dari: kepadatan penduduk dan indeks pembangunan manusia (HDI, *Human Development Index*).

HDI adalah indikator tambahan yang sebelumnya tidak ada di pola kerentanan hipotesis. Indikator-indikator ini kemudian diproses menggunakan metode *cluster* untuk membuat dendrogram (bagian atas Gambar 6).

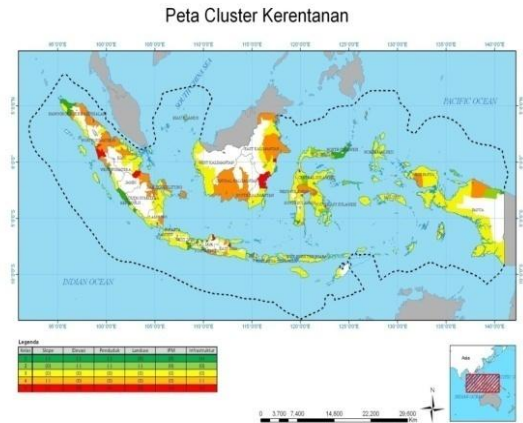
Untuk menyelidiki apakah *cluster* ini berasosiasi dengan pola yang berbeda, nilai-

nilai indikator tersebut diplot terhadap ID kabupaten/kota (bagian bawah Gambar 6).



Gambar 6. Cluster untuk Eksperimen 1: Dendogram (Atas) dan Nilai Indikator terhadap ID Cluster (Bawah, dibagi menjadi 5 Cluster)

Dari hasil di atas, dapat dilihat bahwa beberapa pola tertentu dari distribusi indikator dapat diasosiasikan dengan ID *cluster* tertentu, namun pola tertentu tersebut tidak muncul secara konsisten (tersebar). Ketidakkonsistenan ini juga muncul ketika *cluster* di atas diplot ke peta kerentanan (Gambar 7).



Gambar 7. Peta Kerentanan untuk Eksperimen 1

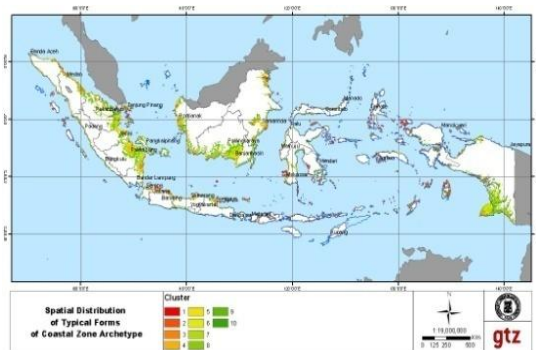
Terlihat bahwa pola kerentanan pada Gambar 7 berbeda dengan pola kerentanan hipotesis pada Gambar 4. Misalnya, Gambar 7 menunjukkan bahwa pesisir Utara dan Selatan Pulau Jawa memiliki pola kerentanan yang sama, sedangkan Gambar 4 menunjukkan bahwa kedua pesisir tersebut memiliki pola yang berbeda. Contoh lainnya adalah pesisir Aceh Utara dan Sulawesi Utara menunjukkan pola yang sama, hal ini tidak sesuai dengan kondisi nyata; pesisir Aceh Utara terdiri dari dataran rendah, sedangkan pesisir Sulawesi Utara terdiri dari dataran dengan ketinggian sedang.

Salah satu masalah dari Eksperimen 1 adalah digunakannya batas administrasi sebagai unit analisis. Artinya, setiap kabupaten direpresentasikan oleh satu nilai rata-rata dari setiap indikator, sehingga kurang akurat, karena terjadi generalisasi yang berlebihan. Akibatnya, peta kerentanan pada Gambar 7 tidak menghasilkan adanya suatu pola tertentu.

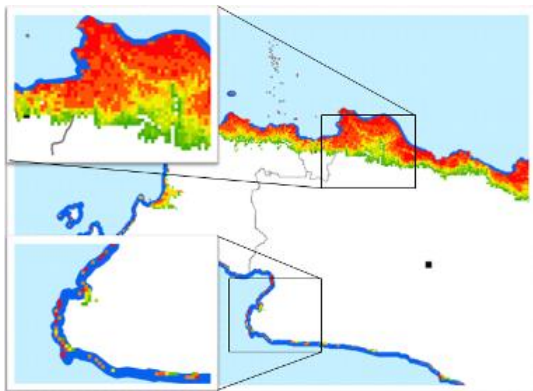
Eksperimen 2

Pada Eksperimen 2 ini sekali lagi digunakan satuan analisis piksel. Hal ini kan karena adanya kecurigaan bahwa terdapat informasi yang hilang pada proses konversi dari satuan piksel menjadi satuan kabupaten pada Eksperimen 1. Diharapkan, ketika menggunakan metode ini, indikator seperti kemiringan, ketinggian, dan guna lahan dapat merepresentasikan kondisi topografi fisis yang

nyata. Data yang sama masih digunakan pada eksperimen ini.



Gambar 8 Peta Kerentanan untuk Eksperimen 2



Gambar 9. Perbesaran Pada Pesisir Utara dan Selatan Jawa Barat Dari Eksperimen 2

Masalah yang muncul dari Eksperimen 2 adalah tidak teramatinya pola kerentanan tertentu dari suatu kabupaten/kota. Contohnya, antara pesisir Utara dan Selatan Pulau Jawa tidak menunjukkan pola yang berbeda. Kondisi ini berbeda dari kenyataan; pesisir Utara Jawa memiliki karakteristik kemiringan yang kecil dan populasi yang besar, sedangkan kondisi sebaliknya terdapat di pesisir Selatan.

Dari Eksperimen 2, dapat disimpulkan bahwa masalah yang muncul pada Eksperimen 1, sesungguhnya bukan disebabkan oleh konversi satuan piksel ke satuan administrasi kabupaten, namun perlunya penanganan khusus pada data sebelum dilakukan proses *clustering*.

Eksperimen 3

Seperti direkomendasikan pada eksperimen sebelumnya, Eksperimen 3 dimulai dengan

persiapan data. Persiapan data ini diperlukan untuk mengantisipasi kombinasi unit analisis piksel dan kabupaten terhadap parameter tertentu, seperti rasio luasnya rendaman dan panjang garis pantai.

Persiapan Data

Rasio rendaman dikembangkan untuk merepresentasikan indikator ketinggian pesisir dan kemiringan yang sebelumnya digunakan. Parameter guna lahan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu kawasan terbangun pemukiman, kawasan terbangun bukan pemukiman, dan kawasan lindung. Indikator kepadatan penduduk dan infrastruktur jalan dikembangkan menggunakan metode yang berbeda.

Kepadatan penduduk: Di sini diperkenalkan Indeks Kerentanan Kepadatan Penduduk (PDVI, *Population Density Vulnerability Index*) untuk setiap kabupaten, yang diturunkan dari persamaan,

$$PDVI = D \left(\frac{1}{S} \right)$$

di mana D adalah kepadatan populasi per kabupaten dan S adalah jarak garis pantai ke tiap piksel yang diidentifikasi sebagai daerah pemukiman. Maka, PDVI dihitung sebagai kepadatan penduduk kabupaten dikalikan dengan rata-rata jarak invers daerah pemukiman dari garis pantai. Dalam perhitungan ini, piksel data tutupan lahan digabungkan dalam perhitungan PDVI. Untuk analisis lebih lanjut, PDVI dan indikator lainnya dinormalisasi dengan persamaan skala linier sederhana:

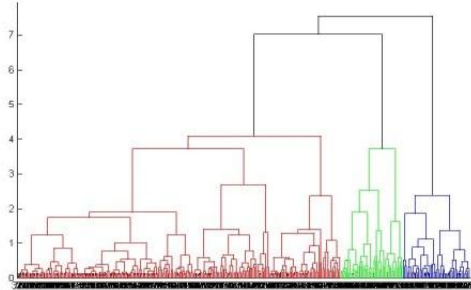
$$\text{Nilai normalisasi} = (\text{nilai} - \text{MIN}) / (\text{MAX} - \text{MIN})$$

Infrastruktur Jalan: Indeks Infrastruktur Penting dihitung berdasarkan panjang jalan yang terendam dibandingkan dengan panjang jalan total dalam suatu kabupaten.

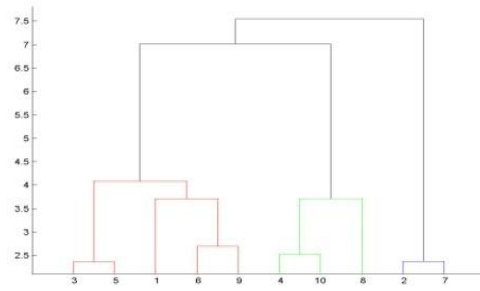
Hasil Eksperimen

Pada Eksperimen 3, digunakan tujuh indikator kerentanan dengan unit analisisnya adalah kabupaten/kota pesisir. Pada

dendrogram untuk semua kabupaten/kota pesisir (lihat Gambar 10) diterapkan *cut off* sehingga didapat hanya sepuluh *cluster* (lihat Gambar 11).

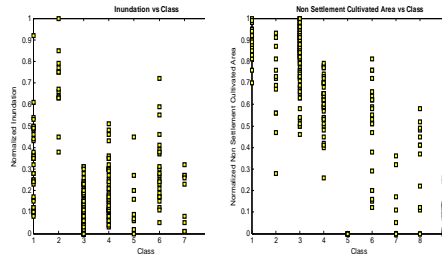


Gambar 10. Cluster Lengkap (Semua Kabupaten/Kota Pesisir)



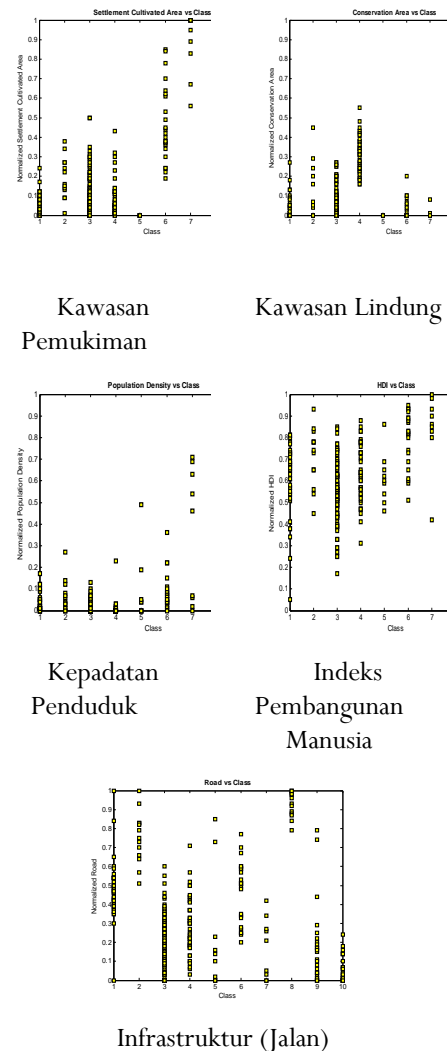
Gambar 11. Cluster Terpilih

Dari nilai indikator kerentanan sepuluh *cluster* tersebut pada Gambar 11, ditentukanlah *archetype* dan peringkatnya untuk semua kabupaten pesisir (lihat Gambar 13).



Rasio Rendaman

Kawasan Non-Pemukiman



Kawasan Pemukiman

Kawasan Lindung

Kepadatan Penduduk

Indeks Pembangunan Manusia

Infrastruktur (Jalan)

Gambar 12. Rincian Eksperimen 3

Cluster	Rasio Rendaman	Kawasan Pemukiman	Kawasan Terbangun Non-Pemukiman	Kawasan Lindung	Kepadatan Penduduk	HDI	Jalan	Peringkat
1	▽	▽	△	▽	▽	△	□	5
2	△	▽	△	▽	□	△	△	2
3	▽	▽	△	▽	▽	□	▽	7
4	▽	▽	□	▽	▽	△	▽	8
5	▽	▽	▽	▽	□	△	▽	6
6	▽	□	□	▽	□	△	□	4
7	▽	△	▽	▽	△	△	▽	3
8	△	△	▽	▽	△	△	△	1
9	▽	▽	▽	△	▽	□	▽	10
10	▽	▽	▽	□	▽	△	▽	9

Gambar 13. Hasil Cluster / Archetype dan Peringkatnya

Gambar 13 di atas menunjukkan bahwa hanya terdapat tiga tingkat *cluster* (*archetype*) kerentanan pesisir di Indonesia, yaitu cukup tinggi (△), sedang (□), dan cukup rendah (▽). Peringkat *cluster* ini ditentukan dari banyaknya peringkat yang tinggi dan sedang.

Di bawah ini adalah peta *archetype* Indonesia menurut Eksperimen 3.

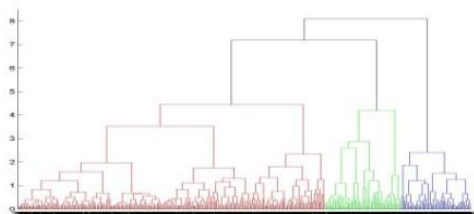


Gambar 14. Peta Awal *Archetype* Pesisir Indonesia dengan 10 *Cluster*

Setelah itu, dilakukan pengklasifikasian ulang terhadap Gambar 13, terlihat bahwa indikator HDI dan Kawasan Lindung tidak memiliki pengaruh yang signifikan dalam pembentukan *archetype*, karena HDI menghasilkan nilai yang besar bagi *cluster*, sedangkan indikator kawasan konservasi menghasilkan nilai yang kecil bagi *cluster*. Penemuan ini dipastikan oleh data dan informasi berikut ini:

- Distribusi spasial kawasan konservasi di beberapa lokasi tidak teramati dengan jelas pada peta karena tidak terdapat informasi status.
- Terdapat beberapa data atau parameter yang tidak sesuai di dalam indikator HDI, misalnya pendapatan per kapita.

Eksperimen tersebut kemudian dilanjutkan pada lima indikator yang tersisa; analisis *cluster* dilakukan untuk menghasilkan dendrogram berikut ini:



Gambar 15. Dendrogram dari Analisis *Cluster*

Dari analisis dendrogram ini, *cut off* diterapkan untuk memperoleh enam *cluster* atau *archetype* kerentanan yang optimal. Peta *archetype* kerentanan Indonesia diperlihatkan di Gambar 16.



Gambar 16. Peta Akhir *Archetype* Pesisir Indonesia dengan 6 *Cluster*

Gambar 16 menunjukkan bahwa, setelah indikator HDI dan Kawasan Lindung dikeluarkan karena dianggap tidak mempengaruhi pola kerentanan, terdapat 5 indikator yang secara dominan mempengaruhi pola kerentanan pesisir Indonesia adalah luasnya rendaman, kepadatan infrastruktur jalan, kepadatan penduduk, dan distribusi kawasan terbangun untuk guna lahan pemukiman dan non-pemukiman. Dapat disimpulkan juga bahwa terdapat 6 *cluster* (pola) kerentanan pesisir Indonesia dan secara umum telah sesuai dengan kondisi fisik di lapangan. Namun demikian, terdapat sedikit pengecualian yaitu bahwa Kabupaten Merauke dan Mappi di Papua memiliki *archetype* yang sama (*cluster* enam) seperti beberapa kabupaten di pesisir Utara Jawa, misalnya Jakarta Utara. Kondisi ini disebabkan oleh nilai rendaman dan nilai jalan yang terendam (73%) yang tinggi di Merauke dan Mappi. Hal ini berarti bahwa pada kedua kabupaten, Merauke dan Mappi, indikator-indikator ini tidak merepresentasikan kondisi nyata dari indeks kawasan rendaman dan jalan yang terendam di kabupaten tersebut.

KESIMPULAN

Melalui eksperimen yang iteratif dan menggunakan metode *cluster*, kajian ini telah berhasil mengidentifikasi pola-pola kerentanan pesisir terhadap rendaman akibat kenaikan muka laut global. Eksperimen ketiga

menunjukkan bahwa dari tujuh indikator yang digunakan sebelumnya, hanya lima indikator yang benar-benar mengendalikan pola kerentanan di Indonesia, yaitu kawasan rendaman, infrastruktur jalan, kepadatan penduduk, dan distribusi kawasan terbangun untuk guna lahan pemukiman dan non-pemukiman.

Dari eksperimen ketiga juga dapat disimpulkan bahwa dari sejumlah 325 kabupaten/kota di kawasan pesisir Indonesia dapat dikelompokkan menjadi enam *archetype* (pola) kerentanan. Dua puluh tiga kabupaten/kota diantaranya (7,07%) dapat diklasifikasikan sebagai *cluster* yang sangat rentan, yang disebut *cluster* 6. *Cluster* 6 secara umum dikarakterisasi sebagai nilai rasio rendaman yang tinggi, nilai infrastruktur yang tinggi, nilai kepadatan penduduk yang tinggi, nilai kawasan pemukiman yang tinggi, dan nilai kawasan non-pemukiman yang rendah. Namun, terdapat pengecualian untuk Kabupaten Merauke dan Mappi di Papua yang juga dikategorikan sebagai *cluster* 6. Ini mungkin karena ketidakakuratan data yang menyebabkan masalah tersebut, karena Kabupaten Merauke dan Mappi seharusnya dikarakterisasi dengan nilai infrastruktur yang rendah, nilai kawasan pemukiman yang rendah, nilai kepadatan penduduk yang rendah, dan nilai kawasan non-pemukiman yang tinggi.

Hasil kajian ini dianggap cukup memadai untuk merepresentasikan pola kerentanan spesifik di suatu daerah (contohnya, Pulau Jawa dan sekitarnya), di mana sebuah *archetype* (*cluster*) dapat merepresentasikan pola kerentanan pesisir yang serupa di antara berbagai daerah yang ada. Seperti telah disebutkan di atas, bahwa garis pantai yang paling rentan akibat kenaikan muka laut di Indonesia dikendalikan oleh indikator fisis seperti kemiringan, ketinggian, dan guna lahan. Indikator ekonomi direpresentasikan oleh infrastruktur, dan indikator sosial direpresentasikan oleh kepadatan penduduk.

Berdasarkan karakteristik pola kerentanan pesisir di atas, beberapa kemungkinan aksi adaptasi yang dapat dilakukan adalah pengendalian kependudukan, revisi rencana tata ruang wilayah, dan pengaturan ketinggian infrastruktur yang sedang maupun akan dibangun.

Pernyataan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan hasil kerjasama GTZ-ITB pada Tahun 2009/2010 dan telah dipresentasikan pada *Internasional Workshop* pada tanggal 29-31 Maret 2010 di Berlin, Jerman. Penulis menyampaikan terimakasih kepada GTZ Jerman yang mendanai penelitian ini dan mengizinkan untuk mempublikasikan hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Affeltranger, B. 2006. *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. ISDR.
- Act No. 25/2007 concerning Coastal Zone and Small Islands Management.
- Badan Pusat Statistik, 2009.
- CI:GRASP team. 2009. *Inspirational Guidelines: Climate-related Patterns of Vulnerability*. Postdam.
- Cowell, P.J., M.J.F. Stive, A.W.Niedoroda, H.J. De Vriend, D.J.P. Swift, G.M. Kaminsky and M. Capobianco. 2003a. "The coastal Tract. Part 1: A Conceptual Approach to Aggregated Modeling of Lower-order Coastal Change." *J. Coastal Res.*, 19, 812-827.
- _____. 2003b: The Coastal Tract. Part 2: Applications of Aggregated Modeling of Lower-order Coastal Change. *J. Coastal Res.*, 19, 828-848.
- Downing, T.E. and A. Patwardhan. 2005. "Assessing Vulnerability for Climate Adaptation. Adaptation Policy Framework for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures." B. Lim, E. Spanger-Siegfried, I. Burton, E. Malone and S. Hug (eds.). Cambridge and New York: Cambridge University Press, pp. 67-90.
- Elsner, J.B., J.P. Kossin and T.H. Jagger. 2008. "The Increasing Intensity of the Strongest Tropical Cyclones." *Nature*, 455, pp. 92-95.

- [Glossary of UNFCCC] [Online]. Available at: unfccc.int/2860.php.
- Hadi, S., R.M. Radjawane, K. Priyatna, H. Latief. 2009. "Kenaikan Permukaan Laut (Sea Level Rise)". Disampaikan pada Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung, Mengelola Risiko Bencana di Negara Maritim Indonesia/Institut Teknologi Bandung di Indonesia.
- Jeager, J., Kok M.T.J. and others. 2007. *Vulnerability of People and the Environment: Challenges and Opportunities, Global Environmental Outlook-4. Environment for Development*. Nairobi: Earthscan.
- Latief, H. and M. S. Fitriyanto. 2009. "Roadmap: Mainstreaming Climate Change Issue Into National Development Planning for Marine and Fishery Sector."
- McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White. K.S. (eds.). 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- O'Brien, K., et al. 2004. "Mapping Vulnerability to Multiple Stressors: Climate Change and Globalization in India." *Global Environ Chang*, 14, pp. 303-313.
- O'Brien, K., S. Eriksen, A. Schjolden and L. Nygaard 2004. "What's in a Word? Conflicting Interpretations of Vulnerability in Climate Change Research." Oslo: Centre for International Climate and Environmental Research Oslo, University of Oslo.
- O'Brien, K. and C.H. Vogel. 2006. *Who Can Eat Information? Examining the Effectiveness of Seasonal Climate Forecast and Regional Climate-risk Management Strategies*. Climate Res.
- Patwardhan, A. 2006. "Assessing Vulnerability to Climate Change: The Link Between Objectives and Assessment." India: Indian Institute of Technology.
- PBL. 2009. *Beyond 2015: Long-term development and the Millennium Development Goals*. Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agencies.
- Schellnhuber, H.J., et al. 1997. "Syndromes of Global Change." *GATA*, 6 (1), pp. 19-34.
- Schroter, D., C. Polsky and A. G. Patt. 2005. *Assessing Vulnerabilities to the Effects of Global Change: an Eight-Step Approach*. Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change.
- Tjasyono, B.. 1999. *Klimatologi Umum*. Bandung: Penerbit ITB.
- Turner, R.K., Doktor, P. and Adger, W.N.. 1995. "Assessing the Costs of Sea-level Rise." *Environment and Planning A*, 27, pp. 1777-1796.
- Turner, R.K., S. Subak, and W.N. Adger. 1996. "Pressures, Trends, and Impacts in Coastal Zones: Interactions Between Socioeconomic and Natural Systems." *Environmental Management*, 20(2), pp. 159-173.
- Turner, B.L., II, R.E. Kasperson, P.A. Matson, J.J. McCarthy, R.W. Corell, L. Christensen, N. Eckley, J.X. Kasperson, A. Luers, M.L. Martello, C. Polsky, A. Pulsipher and A. Schiller. 2003. *A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science*. P. Natl. Acad. Sci.
- Sofian, I., K. Kozai and T. Ohsawa. 2008. "Investigation on the Relationship Between Wind-induced Volume Transport and Mean Sea Level in the Java Using an Oceanic General Circulation Model." *J. Met and Ocean. Soc. of Japan, Umitosora*, 84, pp. 1-17.