

Prediksi Kenaikan Muka Air Laut di Pesisir Kabupaten Tuban Akibat Perubahan Iklim

Ayu Haristyana, Suntoyo dan Kriyo Sambodho

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: suntoyo@oe.its.ac.id

Abstrak— Kenaikan muka air laut adalah salah satu dampak dari perubahan iklim dan pemanasan global yang terjadi akibat semakin meningkatnya aktivitas manusia yang akan menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Dampak dari kenaikan muka air laut itu sendiri akan sangat dirasakan oleh daerah pesisir di negara-negara kepulauan, salah satunya adalah Indonesia (Kabupaten Tuban). Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk menganalisa skenario perubahan iklim apa yang sesuai dengan pesisir Kabupaten Tuban sehingga bisa digunakan untuk memprediksi kenaikan muka air laut yang terjadi selama beberapa tahun mendatang. Selain memprediksi kenaikan muka air laut, parameter lain yang akan diprediksi berkaitan dengan perubahan iklim yaitu perubahan temperatur serta presipitasi. Analisa skenario perubahan iklim pada penulisan makalah ini menggunakan software MAGICC/SCENGEN, serta ER Mapper untuk pembuatan visualisasi daerah genangan. Dari hasil analisa diperoleh skenario perubahan iklim yang sesuai dengan pesisir Kabupaten Tuban adalah skenario B2AIM. Dan berdasarkan hasil analisa MAGICC diperoleh bahwa akan terjadi kenaikan sebesar 1.43 meter pada tahun 2050. Kemudian berdasarkan hasil analisa SCENGEN akan terjadi perubahan curah hujan yang cukup besar pada bulan Juli, Agustus, September dan Oktober. Dan akan terjadi kenaikan temperatur yaitu sebesar 1.56°C pada tahun 2050.

Kata Kunci— kenaikan muka air laut, MAGICC/SCENGEN, perubahan iklim, skenario.

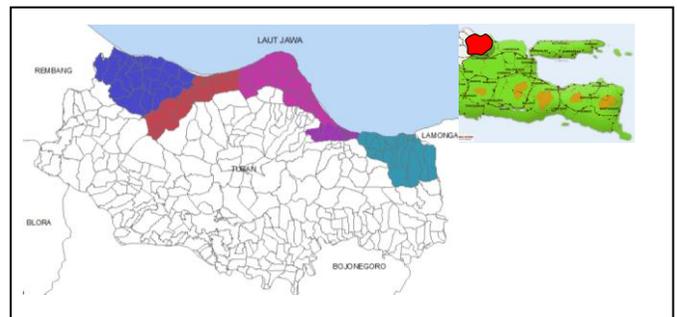
I. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk yang semakin meningkat serta semakin meningkatnya kegiatan industri, menyebabkan naiknya emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Dengan semakin meningkatnya GRK tersebut maka menyebabkan terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim yang memberikan dampak yang cukup besar baik bagi manusia maupun bagi lingkungan.

Ancaman terbesar dari pemanasan global dan perubahan iklim adalah kenaikan muka air laut yang bisa mengancam kehidupan manusia maupun ekosistem lain yang ada di kawasan pesisir. Dampak dari pemanasan global dan perubahan iklim berupa kenaikan muka air laut akan sangat dirasakan oleh banyak negara-negara kepulauan misalnya seperti Indonesia.

Selain menyebabkan kenaikan muka air laut pemanasan global dan perubahan iklim juga menyebabkan terjadinya perubahan iklim global yaitu seperti berubahnya pola angin, pola presipitasi dan siklus hidrologi serta perubahan suhu udara dan air. Dengan memperhatikan dampak-dampak yang terjadi akibat pemanasan global dan perubahan iklim tersebut maka

perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana perubahan iklim dan kenaikan muka air laut yang terjadi di Indonesia khususnya di daerah pesisir. Salah satu daerah studi yang bisa dilakukan sebagai lokasi studi penelitian tersebut adalah pantai utara Jawa tepatnya pesisir Kabupaten Tuban, Jawa Timur seperti yang diberikan pada Gambar 1.



Gambar. 1. Lokasi Kabupaten Tuban (diarsir warna merah).

II. URAIAN PENELITIAN

A. Studi Literatur

Pemanasan global telah mengakibatkan perubahan iklim di Indonesia [1]. Kondisi ini ditandai dengan meningkatnya frekuensi hujan dengan intensitas sangat tinggi, ketidakpastian musim hujan dan musim kemarau, kenaikan muka air laut yang mengancam wilayah pesisir, serta munculnya berbagai bencana yang diakibatkan oleh iklim (*climatic hazards*).

Perubahan iklim didefinisikan sebagai perubahan pada iklim yang dipengaruhi langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia yang merubah komposisi atmosfer, yang akan memperbesar keragaman iklim teramati pada periode yang cukup panjang [2]. Dampak dari perubahan iklim dan pemanasan global yang paling dirasakan oleh negara kepulauan adalah terjadinya kenaikan muka air laut (*sea level rise*).

Salah satu penyebab terbesar dalam kenaikan muka air laut adalah peningkatan temperatur air laut yang menyebabkan terjadinya pemuaihan terhadap volume air laut sehingga massa air laut berubah dan meningkat [3]. Selain itu, mencairnya glasier pegunungan dan tutupan es juga diprediksikan akan menjadi penyebab utama kenaikan muka air laut.

B. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam kajian ini meliputi data pasang surut, temperatur, curah hujan, jumlah penduduk dan kualitas udara di Kabupaten Tuban. Data pasang surut yang digunakan dalam analisa ini adalah data adopsi dari data pasang surut Semarang tahun 1985-2012. Untuk data temperatur menggunakan data temperatur yang diperoleh dari BMKG Tanjung Perak Surabaya tahun 2000 dan 2010, sedangkan data curah hujan menggunakan data curah hujan Kabupaten Tuban tahun 2010 yang diperoleh dari BMKG.

C. Pengolahan Data Pasang Surut

Pada penelitian ini pengolahan data pasang surut menggunakan metode *least square* untuk mendapatkan *Mean Sea Level (MSL)*. *Least square method* merupakan sebuah metode analisa data pasang surut dengan pendekatan fungsi sinus dan cosinus yang menghasilkan output antara lain yaitu komponen-komponen pasang surut, tipe pasang surut, serta besar MSL. Persamaan untuk metode *least square* diberikan pada persamaan (1) dan (2), berikut:

$$\begin{matrix} \{F\} \\ (2k+1) \times 1 \end{matrix} = \begin{matrix} \{H\} \\ (2k+1) \times (2k+1) \end{matrix} \begin{matrix} \{X\} \\ (2k+1) \times 1 \end{matrix} \quad (1)$$

Dimana dengan memasukkan komponen matriksnya didapat bentuk persamaan matriks sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} \sum_{t=1}^m \eta(t) \cos(\omega_1 t) \\ \vdots \\ \sum_{t=1}^m \eta(t) \cos(\omega_{k+1} t) \\ \sum_{t=1}^m \eta(t) \sin(\omega_1 t) \\ \vdots \\ \sum_{t=1}^m \eta(t) \sin(\omega_k t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CC_{1,1} & \dots & CC_{k+1,1} & SC_{1,1} & \dots & SC_{k,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ CC_{1,k+1} & \dots & CC_{k+1,k+1} & SC_{1,k+1} & \dots & SC_{k,k+1} \\ CS_{1,1} & \dots & CS_{k+1,1} & SS_{1,1} & \dots & SS_{k,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ CS_{1,k} & \dots & CS_{k+1,k} & SS_{1,k} & \dots & SS_{k,k} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_1 \\ \vdots \\ A_{k+1} \\ B_1 \\ \vdots \\ B_k \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dari meng-invers matriks H, maka akan diperoleh komponen-komponen pasang surut yang diperoleh dari matriks X [4].

D. Pemodelan dengan MAGICC

Pada tahap ini dilakukan pemodelan dengan menggunakan MAGICC (*Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change*). MAGICC digunakan untuk mengintegrasikan model siklus gas, iklim dan pencairan es yang memperkenalkan pengguna mendapatkan suhu global rata-rata dan level muka laut akibat dari emisi GRK dan SO2 dengan tujuan untuk membandingkan skenario emisi kebijakan terhadap skenario referensi (efektivitas kontrol kebijakan emisi relatif terhadap baseline kebijakan non- iklim) [5]. Software ini membutuhkan input data yang berupa skenario emisi gas-gas yang telah ditetapkan sebelumnya pada SRES (Special Report on Emissions Scenarios) emisi antropogenik antara lain yaitu CO2, CH4, N2O, SO2, halokarbon dan gas-gas reaktif yang

lain. Untuk penelitian ini digunakan skenario B2AIM dan A2AIM dan parameter yang digunakan adalah CSIRO. Hasil keluaran dari software MAGICC berupa proyeksi kenaikan muka air laut dan temperatur.

E. Pemodelan dengan SCENGEN

Setelah pemodelan dengan menggunakan MAGICC selesai maka dihasilkan pemodelan dengan menggunakan SCENGEN. SCENGEN menghasilkan pola perubahan spasial berupa presipitasi.

F. Validasi Output

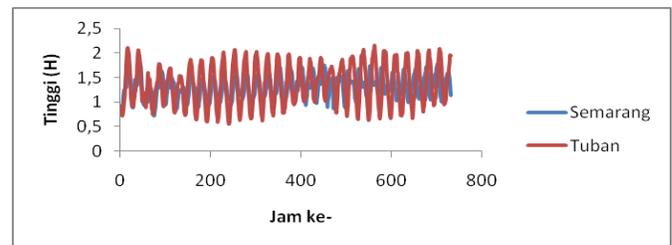
Pada tahap ini dilakukan validasi hasil pemodelan dari MAGICC dan SCENGEN yang dibandingkan dengan data temperatur, pasang surut, serta curah hujan. Selain itu untuk mengetahui daerah yang tergenang akibat terjadinya kenaikan muka air laut maka dilakukan pengolahan data DEM dengan menggunakan software Er Mapper.

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data Pasang Surut

Karena keterbatasan data pasang surut Kabupaten Tuban, maka untuk memprediksi kenaikan muka air laut digunakan data adopsi dari data pasang surut Semarang.

Berdasarkan data pasang surut yang ada yaitu tahun 2011 dan tahun 2012 (Januari-Februari) untuk Kabupaten Tuban dan tahun 1985 sampai tahun 2012 (Januari-Februari) untuk Semarang yang diperoleh dari BAKOSURTANAL, maka dapat ditentukan tipe dari pasang surut Kabupaten Tuban dengan menggunakan metode *least square*[14]. Dan dari hasil pengolahan ternyata diketahui tipe pasang surut di Kabupaten Tuban dan Semarang adalah diurnal tide.

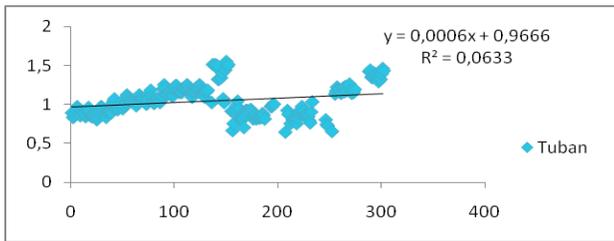


Gambar. 2. Perbandingan pasang surut Semarang dan Tuban bulan Desember 2011.

Dari gambar 2 tampak bahwa data pasang surut Kabupaten Tuban memiliki nilai yang lebih tinggi dari data pasang surut Semarang, oleh karena itu perlu di cari nilai untuk mencari nilai baru pasang surut Semarang agar bisa dijadikan adopsi untuk mencari MSL Kabupaten Tuban. Dari hasil perhitungan diperoleh rata-rata selisih pasang surut Tuban dan Semarang adalah 0.08.

Dari selisih tersebut maka bisa diperoleh MSL baru yang akan digunakan untuk memprediksi MSL di Kabupaten Tuban beberapa tahun mendatang.

Dengan menggunakan persamaan diatas maka dapat diprediksi kenaikan muka air laut Tuban untuk 50 tahun ke depan yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 1.



Gambar. 3. MSL Tuban Tahun 1985-2012.

Tabel 1.
Prediksi Kenaikan Muka Air Laut

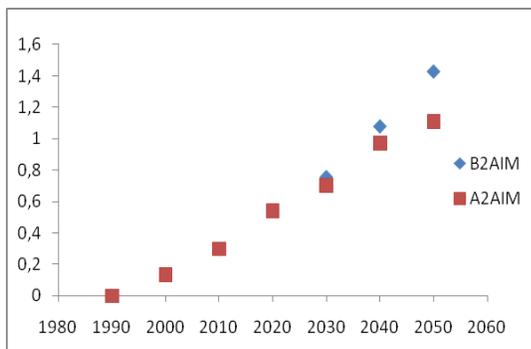
Tahun	Kenaikan Muka Air Laut
2020	1.211
2030	1.283
2040	1.355
2050	1.427

B. Prediksi Kenaikan Muka Air Laut

Untuk memprediksi kenaikan muka air laut di pesisir Kabupaten Tuban menggunakan MAGICC dengan skenari B2AIM dan A2AIM. Dari pemodelan MAGICC diperoleh proyeksi kenaikan muka air laut selama beberapa tahun ke depan sampai tahun 2050 untuk kawasan pesisir Kabupaten Tuban yang disajikan pada tabel 2 dan gambar 4.

Tabel 2.
Prediksi Kenaikan Muka Air Laut Berdasarkan Skenario B2AIM dan A2AIM

Tahun	Kenaikan Muka Air Laut (m)	
	B2AIM	A2AIM
1990	0.000	0.000
2000	0.135	0.135
2010	0.297	0.297
2020	0.540	0.540
2030	0.757	0.702
2040	1.080	0.973
2050	1.430	1.108

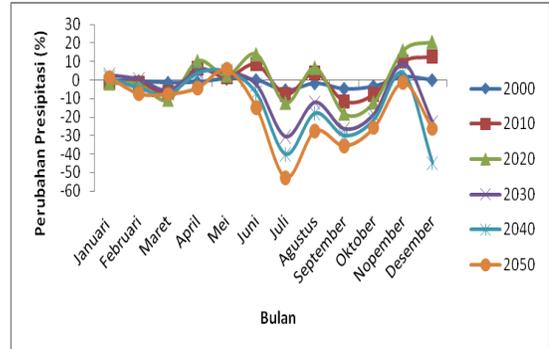


Gambar. 4. Kenaikan Muka Air Laut dari tahun 1990-2050.

C. Prediksi Perubahan Curah Hujan

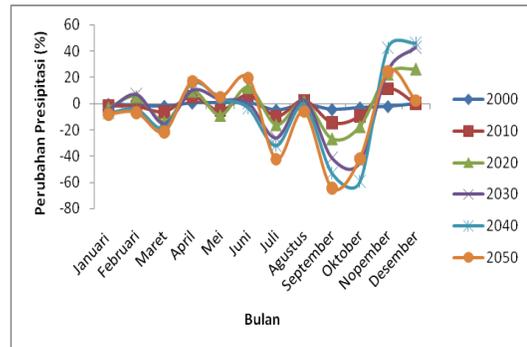
Untuk prediksi perubahan curah hujan yang terjadi di pesisir Kabupaten Tuban menggunakan software SCENGEN. Berikut ini adalah hasil proyeksi perubahan presipitasi untuk Kabupaten Tuban, dapat dilihat pada gambar 5. Untuk pemodelan perubahan presipitasi Kabupaten Tuban menempati grid 7.5°-5.0°LS dan 110.0°-112.5°BT. Skenario iklim: B2AIM dan A2AIM, model: *CSIRO with aerosol effect*.

- B2AIM



Gambar. 5. Pola Perubahan Presipitasi Selama 50 tahun (Skenario B2AIM).

- A2AIM



Gambar. 6. Pola Perubahan Presipitasi Selama 50 tahun (Skenario A2AIM).

Dari hasil pemodelan dengan SCENGEN dengan menggunakan dua skenario diketahui bahwa terjadi pola perubahan presipitasi yang cukup besar pada bulan Juli, Agustus, September dan Oktober, sebagaimana terlihat pada gambar 5 dan 6.

C. Prediksi Perubahan Temperatur

Untuk prediksi perubahan temperatur yang terjadi di pesisir Kabupaten Tuban menggunakan software SCENGEN. Tabel 3 merupakan hasil proyeksi perubahan temperatur untuk Kabupaten Tuban. Untuk pemodelan perubahan temperatur Kabupaten Tuban menempati grid 7.5°-5.0°LS dan 110.0°-112.5°BT. Skenario iklim: B2AIM dan A2AIM, model: *CSIRO with aerosol effect*. Berikut ini adalah proyeksi kenaikan temperatur regional.

Tabel 3.
Kenaikan Temperatur Regional

Tahun	Perubahan Temperatur (C)	
	B2AIM	A2AIM
1990	0	0
2000	0.19	0.19
2010	0.41	0.4
2020	0.67	0.64
2030	1.03	0.9
2040	1.35	1.15
2050	1.56	1.44
Rata-rata	0.744285714	0.674285714

D. Validasi Hasil Pemodelan dengan Data Lingkungan

- Validasi Kenaikan Muka Air Laut

Untuk membandingkan prediksi kenaikan muka air laut antara hasil pemodelan MAGICC dengan MSL Tuban, maka diasumsikan bahwa MSL Kabupaten Tuban pada tahun 1990 adalah 0 (sebagai acuan awal kenaikan muka air laut). Hasil perbandingan prediksi kenaikan muka air laut Tuban antara hasil pemodelan menggunakan MAGICC dan hasil prediksi MSL Tuban, dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4.
Perbandingan Kenaikan Muka Air Laut Hasil Pemodelan dan MSL Tuban

Tahun	Kenaikan Muka Air Laut (m)			Koreksi (%)	
	B2AIM	A2AIM	MSL Tuban	B2AIM	A2AIM
1990	0	0	0	0	0
2000	0.135	0.135	0.86	-5.37037	-5.37037
2010	0.297	0.297	1.02	-2.434343	-2.434343
2020	0.54	0.54	1.2114	-1.243333	-1.243333
2030	0.757	0.702	1.2834	-0.695376	-0.828205
2040	1.08	0.973	1.3554	-0.255	-0.393011
2050	1.43	1.108	1.4274	0.001818	-0.288267
Rata-rata	0.605571	0.53643	1.02251429	-1.428086	-1.759588

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa kenaikan muka air berdasarkan prediksi kenaikan MSL dari tahun 1990-2050 memiliki nilai yang hampir sama dengan nilai dari hasil pemodelan MAGICC dengan skenario B2AIM dibandingkan dengan skenario A2AIM yaitu terjadi kenaikan muka air laut sebesar 1.43 meter. Untuk tahun 1990 kenaikan muka air laut. Dari prediksi kenaikan MSL Kabupaten Tuban akan terjadi kenaikan muka air laut sebesar 1.21 meter pada tahun 2020, 1.24 meter pada tahun 2030, 1.35 meter pada tahun 2040, dan 1.43 meter pada tahun 2050. Sedangkan untuk prediksi kenaikan muka air laut dengan skenario B2AIM akan terjadi kenaikan muka air laut sebesar 0.54 meter pada tahun 2020, 0.78 meter pada tahun 2030, 1.08 meter pada tahun 2040, dan 1.43 meter pada tahun 2050.

- Validasi Perubahan Presipitasi

Untuk koreksi perubahan presipitasi dari pemodelan SCENGEN menggunakan data curah hujan Kabupaten Tuban tahun 2010 yang diperoleh dari BPS Kabupaten Tuban. Untuk menentukan curah hujan yang terjadi berdasarkan hasil dari pemodelan maka digunakan persamaan berikut:

$$CH \text{ akan datang} = \text{data observasi} + \left(\text{data observasi} \times \frac{\% \text{ perubahan}}{100} \right)$$

Data observasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan bulanan Kabupaten Tuban tahun 2010. Dan prosentase perubahan curah hujan diperoleh dari hasil pemodelan SCENGEN yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5.
Perbandingan curah hujan data observasi dan model

Bulan	Dt. Obs	%Perubahan		CH akan datang (mm)		Faktor Koreksi %	
		B2AIM	A2AIM	B2AIM	A2AIM	B2AIM	A2AIM
Jan	316.08	-1.4	-2	311.6549	309.7584	-0.0141988	-0.020408
Feb	240.48	-1.6	-2.1	236.6323	235.4299	-0.0162602	-0.02145
Mar	32.96	-6.7	-6.2	30.75168	30.91648	-0.0718114	-0.066098
Apr	248.96	6.2	5.2	264.3955	261.9059	0.0583804	0.04943
Mei	176.68	1.5	-5.5	179.3302	166.9626	0.0147783	-0.058201
Jun	113.32	8.5	6.5	122.9522	120.6858	0.078341	0.061033
Jul	144.8	-7.9	-9.8	133.3608	130.6096	-0.0857763	-0.108647
Ags	51.84	3.8	2.4	53.80992	53.08416	0.0366089	0.023438
Sep	154.56	-11.7	-14.6	136.4765	131.9942	-0.1325028	-0.17096
Okt	191.08	-7.8	-9.6	176.1758	172.7363	-0.0845987	-0.106195
Nop	155.72	10.1	11.1	171.4477	173.0049	0.0917348	0.09991
Des	251	12.7	-0.1	282.877	250.749	0.1126886	-0.001001
rata-rata						-0.0010514	-0.026596

- Validasi Perubahan Temperatur

Untuk validasi perubahan temperatur dari pemodelan SCENGEN menggunakan data temperatur yang diperoleh dari BMKG Tanjung Perak Tahun 2000 dan 2010. Selisih perubahan temperatur antara perubahan temperatur global dengan perubahan temperatur regional, disajikan pada tabel 6. Untuk menghitung selisih perubahannya menggunakan persamaan: Selisih Perubahan = Suhu Proyeksi - Suhu Baseline.

Tabel 6.
Selisih Perubahan Temperatur Global dan Regional

Tahun	Perubahan T (C)		T Global (C)		Selisih(C)	
	B2AIM	A2AIM	B2AIM	A2AIM	B2AIM	A2AIM
1990	0	0	0	0	0	0
2000	0.19	0.19	0.17	0.17	0.02	0.02
2010	0.41	0.4	0.35	0.33	0.06	0.07
2020	0.67	0.64	0.56	0.5	0.11	0.14
2030	1.03	0.9	0.83	0.65	0.2	0.25
2040	1.35	1.15	1.16	0.89	0.19	0.26
2050	1.56	1.44	1.5	1.15	0.06	0.29

Selisih perubahan temperatur digunakan untuk mengetahui besar temperatur yang terjadi dan kemudian dibandingkan dengan data lingkungan yang ada.

$$\text{Suhu akan datang} = \text{Suhu Observasi} + \text{Selisih Perubahan}$$

Tabel 7.
Prediksi Temperatur Pesisir Kabupaten Tuban Tahun 2000 dan 2010

Tahun T Obs (C)	Selisih (C)		T akan Datang (C)		Faktor Koreksi %		
	B2AIM	A2AIM	B2AIM	A2AIM	B2AIM	A2AIM	
1990	0	0	0	0	0	0	
2000	27.35283	0.02	0.02	27.3728	27.3728	0.00073	0.00073
2010	28.85805	0.06	0.07	28.9181	28.9281	0.00207	0.00242
2020	-	0.11	0.14	-	-	-	-
2030	-	0.2	0.25	-	-	-	-
2040	-	0.19	0.26	-	-	-	-
2050	-	0.06	0.29	-	-	-	-

E. Pembuatan Visualisasi Daerah Genangan

Pembuatan visualisasi genangan daerah pesisir yang tergenang

akibat kenaikan muka air laut di Kabupaten Tuban ini menggunakan data DEM darat dan citra LANDSAT. Dengan menggunakan tools Land Application Wizard pada software ER Mapper, seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar. 7. Visualisasi Daerah Genangan di Pesisir Kabupaten Tuban Akibat Kenaikan Muka Air Laut.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil analisa pembahasan diatas tentang skenario perubahan iklim untuk daerah pesisir Kabupaten Tuban dengan membandingkan dua skenario yang berbeda yaitu skenario A2AIM dan skenario B2AIM, maka dapat diambil kesimpulan bahwa skenario yang sesuai dengan kondisi daerah pesisir Kabupaten Tuban adalah skenario B2AIM yang menghasilkan proyeksi kenaikan muka air laut sebesar 0.135 m pada tahun 2000, 0.297 m untuk tahun 2010, 0.54 m pada tahun 2020, 0.757 m pada tahun 2030, 1.08 m pada tahun 2040 dan 1.43 m pada tahun 2050. Dari hasil analisa juga diketahui bahwa terjadi perubahan curah hujan yang cukup besar pada bulan Juli, Agustus, September dan Oktober. Dan untuk perubahan temperatur yaitu sebesar 0.19^oC pada tahun 2000, 0.41^oC pada tahun 2010, 0.67^oC pada tahun 2020, 1.03^oC pada tahun 2030, 1.35^oC pada tahun 2040, dan 1.56^oC pada tahun 2050.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pertama mengucapkan terima kasih kepada Ibu, Bapak dan Adik atas dukungan dan kasih sayangnya, terimakasih kepada Bapak Suntoyo, ST., M.Eng, Ph.D dan Bapak Dr. Kriyo Sambodho, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing atas arahan dan bimbingannya, terima kasih kepada ITS, staff pengajar Teknik Kelautan ITS atas ilmunya yang diberikan, dan terima kasih teman-teman seperjuangan D'Commodore atas segala dukungan dan semangatnya. Serta penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan Makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudibiyakto, Pesisir sebagai Daerah Terparah Perubahan Iklim, Pidato Pengukuhan Guru Besar Universitas Gajah Mada, 2010.
- [2] Trenberth, Houghton, and Filho, *The Climate Change System: an overview. In: Climate Change 1995, The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the 2nd Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1995.
- [3] IPCC Working Group 2. 2001.
- [4] Zakaria, Ahmad., *Teori dan Komputasi Gelombang Angin dan Pasang Surut Menggunakan PHP Script*, Lampung, Desember 2009.
- [5] Hulme, M., Wigley, T.M.L., Barrow, E.M., Raper, S.C.B., Centella, A., Smith, S.J. and Chipanshi, A.C., *Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook*, Climatic Research Unit, Norwich UK, 52 pp, 2000.