

PEMODELAN 3D PULAU BATU MANDI MENGGUNAKAN *DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM) TURUNAN DIGITAL SURFACE MODEL (DSM) SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM) 90* DENGAN INTERPOLASI COKRIGING

Atriyon Julzarika

Peneliti Bidang Bangfatja, Pusbangja, LAPAN
e-mail: verbhakov@yahoo.com

ABSTRACT

Pulau Batu Mandi is one of the 92 small outlying islands of Indonesia. This island has a common boundary with Malaysia and it is needed a 3D model to see the topography condition of that island. In this research, that modelling uses the data input of Digital Surface Model (DSM) SRTM90 and is added by one basepoint and one reference point and also some bathymetry points. All data are merged to produce a new DSM using the CoKriging interpolation. Then the DSM2DEM operation is performed to transform the derived DSM of CoKriging interpolation to be a DEM 7 m. The spline interpolation is then performed toward the DEM 7 m to provide a smoother display. The DEM 7 m has a spatial resolution of 7 m with the vertical accuracy <5m after performing a geostatistical test globally to the reference data. This condition uses 3σ tolerance to fulfill the mapping criteria for the possibility of 1m sea level rise. This DEM 7 m can be used for engineering and non-engineering applications

Keywords: *Pulau Batu Mandi, DSM, DEM, CoKriging Interpolation*

ABSTRAK

Pulau Batu Mandi merupakan salah satu dari 92 pulau kecil perbatasan Indonesia. Pulau ini berbatasan dengan Malaysia dan diperlukan pemodelan 3D untuk melihat bagaimana kondisi topografi di wilayah tersebut. Pada penelitian ini pemodelan tersebut menggunakan data masukan *Digital Surface Model (DSM) SRTM90* yang dibantu dengan satu *basepoint* dan satu titik referensi serta beberapa titik batimetri. Semua data tersebut digabung sehingga menghasilkan DSM baru dengan menggunakan interpolasi *CoKriging*. Kemudian dilakukan penentuan DSM2DEM dan hasil ini digunakan untuk menurunkan DSM hasil interpolasi *CoKriging* tersebut menjadi DEM 7 m. Terhadap DEM 7 m ini kemudian dilakukan interpolasi spline untuk membuat tampilan yang lebih halus. Hasil DEM 7 m ini memiliki resolusi spasial 7 m dengan akurasi vertikal <5 m setelah dilakukan pengujian secara global terhadap data referensi. Pemilihan syarat tersebut menggunakan toleransi 3σ sehingga dapat memenuhi kriteria pemetaan untuk kemungkinan kenaikan air laut 1 m. Hasil DEM 7 m ini bisa digunakan untuk berbagai aplikasi keteknikan dan non keteknikan lainnya.

Kata kunci: *Pulau Batu Mandi, DSM, DEM, Interpolasi CoKriging*

1 PENDAHULUAN

Indonesia memiliki 17.504 pulau dengan garis pantai sepanjang 95.181 km dan kemiringan rata-rata 2% atau

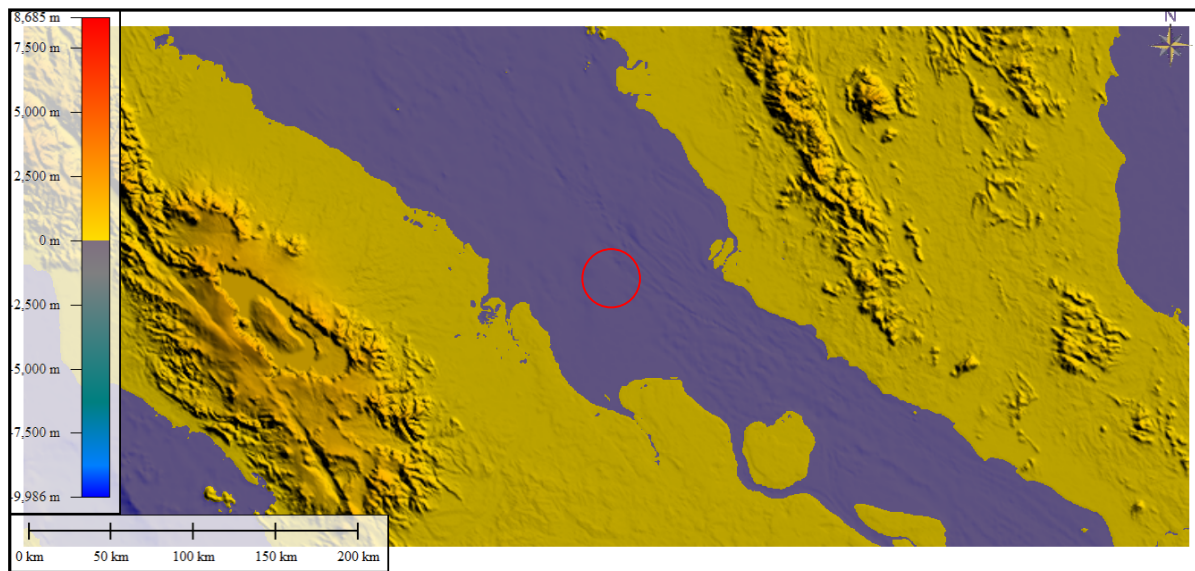
genangan air mundur ke arah darat sejauh 50 m dari garis pantai (Diposaptono, 2009). Fenomena perubahan iklim sudah berdampak pada

Indonesia, yaitu setidaknya sudah kehilangan 24 pulau kecil dalam waktu 2005-2007 (Diposaptono, 2009). 24 pulau kecil yang tenggelam terdapat di NAD (tiga pulau), Sumatera Utara (tiga pulau), Papua (tiga pulau), Kepri (lima pulau), Sumatera Barat (dua pulau), dan Sulawesi Selatan (satu pulau) serta Kepulauan Seribu (tujuh pulau) (Diposaptono, 2009).

Kenaikan muka air laut sangat berpengaruh pada penataan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. Saat ini Indonesia memiliki 92 pulau-pulau kecil terluar, dengan 67 pulau di antaranya berbatasan langsung dengan negara tetangga sebagai pulau-pulau kecil perbatasan (Bakosurtanal, 2002). Dari sejumlah 67 pulau tersebut, 13 di antaranya perlu mendapat perhatian khusus dari pemerintah. Kenaikan muka air laut ini menjadi masalah penting terutama pada penentuan batas maritim antar negara. Saat ini Indonesia dihadapkan pada permasalahan batas maritim. Indonesia belum mempunyai

perjanjian batas maritim antar negara dengan Palau, Philipina, dan Timor Leste serta belum selesainya kesepakatan permasalahan batas maritim dengan Singapura, Malaysia, dan Vietnam (Abubakar, 2006).

Pulau Batu Mandi merupakan salah satu dari 92 pulau terluar perbatasan Indonesia dengan Malaysia. Pulau ini terletak di Kabupaten Rokan Hilir, Provinsi Riau. Pada Pulau Batu Mandi terdapat titik pangkal Indonesia yang ditandai dengan TD.185 dan titik referensi TR.185. Klaim batas maritim meliputi klaim atas zona maritim nasional yaitu perairan pedalaman (*internal water*), perairan kepulauan (*archipelagic waters*), laut teritorial (*territorial sea*), zona tambahan (*contiguous zone*), zona ekonomi eksklusif (*exclusive economic zone*), dan landas kontinen (*continental shelf*). Zona maritim yang bisa diklaim sebuah negara pantai diukur dari garis pangkal (*baseline*) ke arah Laut (Arsana, 2007).



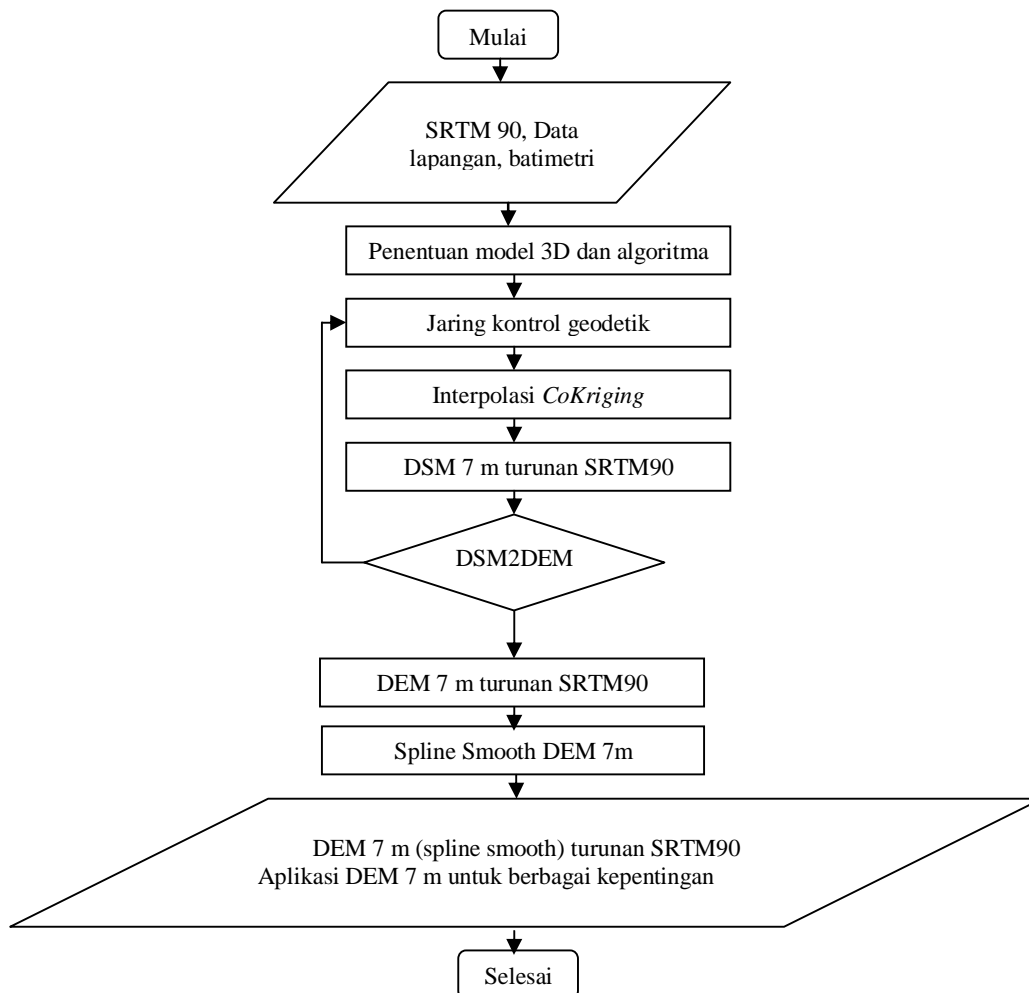
Gambar 1-1: Lokasi Pulau Batu Mandi (pada gambar lingkaran)

2 METODOLOGI PENELITIAN

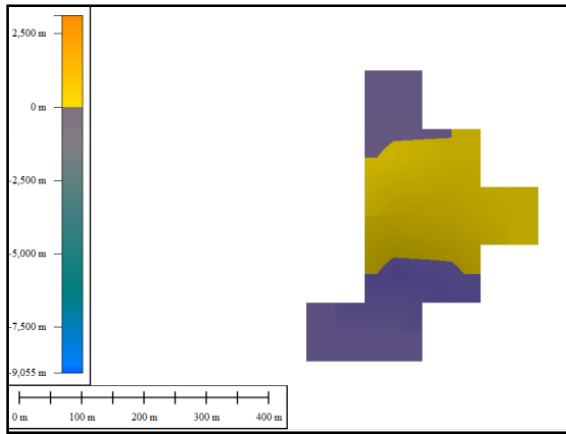
Model 3D dalam survei dan pemetaan meliputi Digital Surface Model (DSM), Digital Elevation Model (DEM), Digital Terrain Model (DTM), dan Digital Geoid Model (DGM). DSM merupakan model permukaan digital dengan referensi permukaan objek terhadap *Mean Sea Level* (MSL) 18,61 tahun. DEM merupakan model permukaan digital yang mempunyai referensi terhadap *ellipsoid*. DTM merupakan model permukaan digital yang mempunyai referensi terhadap koordinat toposentrik dan telah dilakukan koreksi unsur-unsur geodetis terhadap model tersebut.

DGM merupakan model permukaan digital yang mempunyai referensi terhadap geoid/rata-rata ekuipotensial yang berimpit dengan MSL. Gambar 2-1 menjelaskan diagram alir pada kegiatan ini.

Salah satu cara untuk mengkaji Pulau Batu Mandi adalah dengan pemodelan 3D dengan interpolasi *Co-Kriging* menggunakan turunan DEM SRTM90. Penelitian ini bertujuan untuk membuat DEM hasil turunan DSM SRTM90 menggunakan satu *base point*, satu titik referensi dan sejumlah titik batimetri.



Gambar 2-1: Diagram alir penelitian



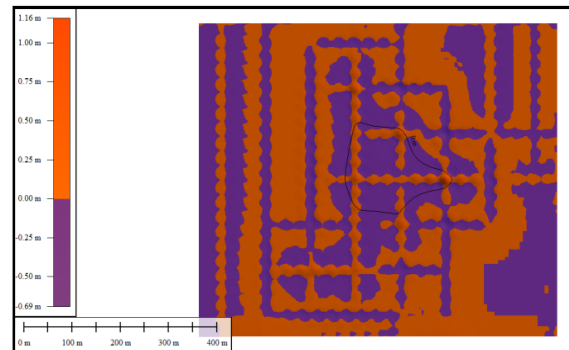
Gambar 2-2: DSM SRTM90

Data masukan berupa SRTM90 versi 4 memiliki akurasi horizontal sebesar 90 meter dan akurasi vertikal sebesar 8 meter. Akurasi vertikal ini bisa ditingkatkan sedangkan akurasi horizontal belum bisa diubah karena informasi pada satu piksel masih satu kesatuan. Penelitian hanya memfokuskan pada peningkatan akurasi vertikal dan resolusi spasial berupa *resampling*. DEM merupakan model permukaan digital yang mempunyai referensi terhadap *ellipsoid* (Li et all, 2005). Metode *CoKriging* juga memerlukan suatu jaring kontrol geodetik. *CoKriging* merupakan pengembangan interpolasi *Kriging* dimana interpolasi ini memerlukan tambahan data dari luar data itu sendiri.

Pemodelan 3D ini akan menghasilkan *Digital Elevation Model* (DEM) dengan akurasi horizontal 7 meter dan akurasi vertikal <5 m sehingga sudah memenuhi syarat dalam pemodelan 3D Pulau Batu Mandi yang memiliki luas 20 km². Syarat tersebut menggunakan standar survei pemetaan berupa kondisi 3σ (Moffit and Mikhail, 1980). DEM tersebut dibuat dengan penurunan dari DSM dengan menggunakan persamaan DSM2DEM yang ditambah dengan interpolasi *Kriging*. Persamaan ini dapat dihitung dengan hitung perataan kuadrat terkecil. Pemodelan 3D dengan interpolasi *Kriging* ini harus memenuhi range tertentu (Julzarika dan Sudarsono, 2009), sebagai berikut:

- Tinggi setiap titik penelitian adalah h_i meter, h_i =tinggi terhadap *ellipsoid*
- *Range* arah sumbu x : $X' = X - dx_i$ s.d $X + dx_i$
Maka *range* $X = X'$ (pada penelitian ini lebih mengutamakan elevasi/sumbu z)
- *Range* arah sumbu y : $Y' = Y - dy_i$ s.d $Y + dy_i$
Maka *range* $Y = Y'$ (pada penelitian ini lebih mengutamakan elevasi/sumbu z)
- *Range* arah sumbu z : $Z' = Z - dz_i$ s.d $Z + dz_i$
 dx_i , dy_i , dan dz_i adalah simpangan baku titik yang diperoleh dari model matematika dengan hitung perataan.

Berikut hasil penurunan DSM menjadi DEM pada Pulau Batu Mandi. *Range* yang diperoleh berkisar pada angka 1,16 – (-0.69) m. Selain itu kondisi di Pulau Batu Mandi berupa karang dan semak sehingga kondisi *range* tersebut masih bisa masuk toleransi. Karang dan semak terletak pada perbedaan tinggi 0-1 m terhadap muka air laut terendah.



Gambar 2-3: DSM2DEM

Pemodelan 3D tersebut didasarkan pada konsep interpolasi *Kriging* karena saat ini *Kriging* merupakan metode terbaik dalam melakukan interpolasi secara geostatistik karena dapat menghasilkan akurasi tinggi dan presisi seksama. Metode *Kriging* memerlukan suatu jaring kontrol geodetik. Pada pemodelan permukaan digital, diperlukan bagaimana suatu jaring kontrol geodetik dapat menghasilkan *grid* data secara matematis (Widjajanti, N., dan Sutanta, H. 2006 dalam Julzarika, 2007). *Grid* data dibentuk berdasarkan rangkaian

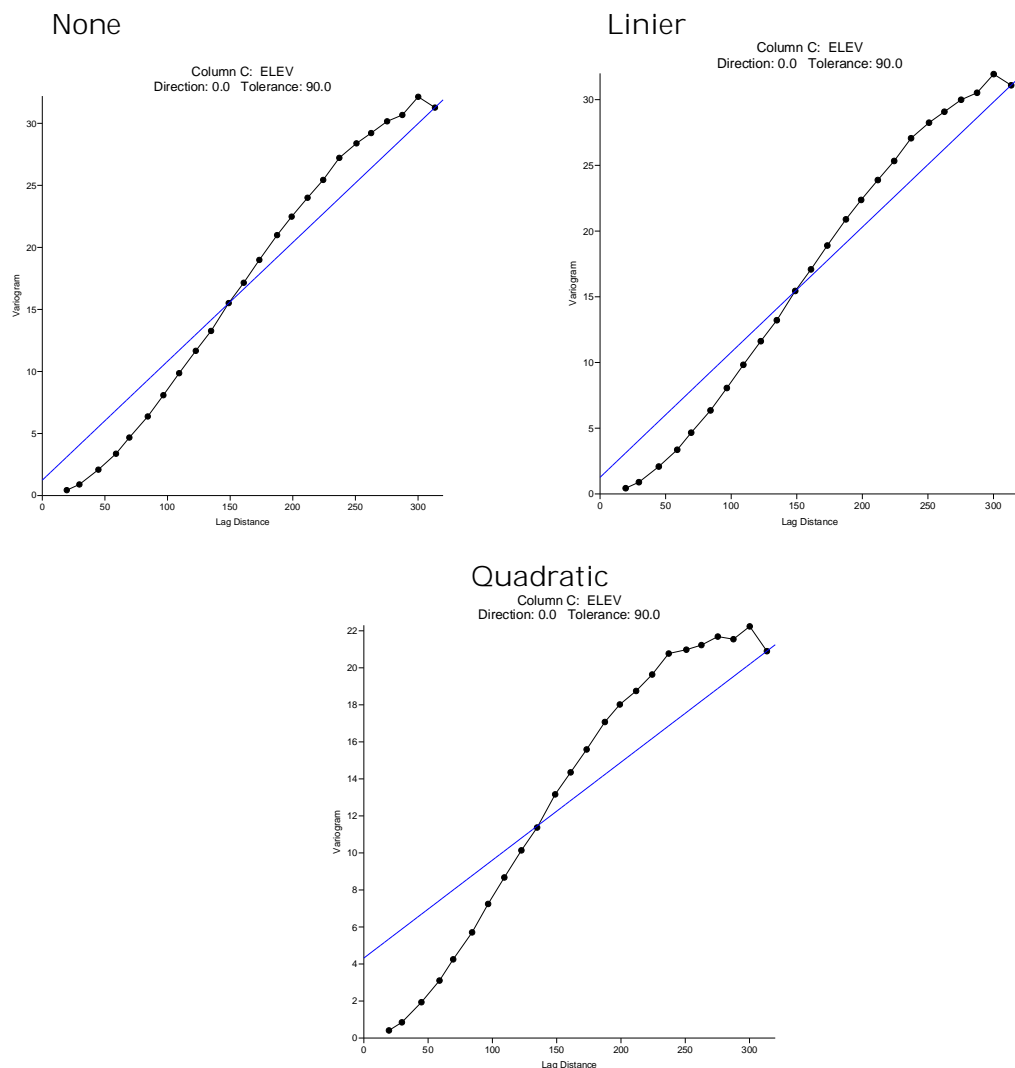
koordinat *raster* (baris, kolom) akibat terjadi transformasi koordinat. Transformasi koordinat yang dimaksud adalah perubahan format tampilan peta dari koordinat kartesian (x, y, z, t) pada jaring kontrol geodetik menjadi koordinat *raster* pada grid data (Arsana dan Julzarika, 2006). Secara matematis, metode *Kriging* dapat menghasilkan nilai akurasi tinggi dan presisi seksama (Li et al, 2005).

2.1 Interpolasi *Kriging*

Metode *Kriging* adalah metode interpolasi yang berbasis geostatistik (Widjajanti dan Sutanta, 2006). Metode ini diturunkan dari teori variabel pembatas (*regional variable*) yang mengasumsikan bahwa variasi data geografi dapat disebut sebagai variabel pembatas. *Kriging* menurunkan pem-

bobotan untuk interpolasinya dari semivariogram (Surfer, 2009). Setiap pengukuran mempunyai kesalahan ukuran, baik kesalahan acak maupun kesalahan tidak acak. Pemerataan titik kontrol dalam jaring kontrol geodetik mempengaruhi akurasi dan presisi data. Gambar 2-4 menunjukkan hasil semivariogram dari DEM turunan DSM SRTM 90 dengan detrend (none, linear, dan quadratic).

Penghitungan dan penggambaran semivariogram adalah inti dari interpolasi metode *Kriging*. Semivariogram menentukan tingkatan hubungan spasial (*spatial correlation*) antar data yang diukur di suatu wilayah, atau tingkat hubungan dari data spasial yang merupakan variabel pembatas tersebut (Widjajanti dan Sutanta, 2006).



Gambar 2-4: Semivariogram dengan detrend none, linear, dan quadratic

Semivariogram ini mengatur proses pembobotan interpolasi metode *Kriging*, dan juga mengatur kualitas hasil interpolasi. Sebelum melakukan interpolasi dengan metode *Kriging* maka harus ditentukan terlebih dahulu bentuk semivariogram.

Semivariogram yang merupakan tingkat hubungan spasial tersebut sebenarnya adalah suatu gambaran dari semivarian yang mempunyai interval antar data yang tidak sama untuk suatu pengambilan data dalam suatu kelompok data (Widjajanti dan Sutanta, 2006). Jika terdapat suatu kelompok data dengan jumlah n , dan interval antar data yang sama atau Δ , maka dengan persamaan semivarian dapat dinyatakan hubungan antar suatu pasangan data ke- i dan data ke- h , yang dinotasikan dengan " γ ".

$$\gamma_h = \frac{\sum_i^{n-h} (X_i - X_{i-h})^2}{2n}$$

Pada persamaan tersebut, X_i adalah data ke- i dan X_{i-h} adalah data pengukuran yang lain dengan interval h . Jika interval antar titik data tidak sama atau h mempunyai nilai yang berbeda, kemudian hasil dari perhitungan semivarian tersebut digambarkan menjadi sebuah bentuk semivariogram.

2.2 Interpolasi *CoKriging*

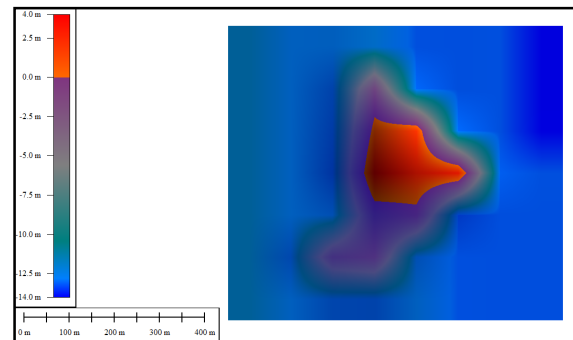
CoKriging merupakan interpolasi titik, membutuhkan peta titik sebagai data masukan dan menghasilkan peta *raster* dengan estimasi dan peta kesalahan/error. *CoKriging* adalah *multivariate variant* dengan operasi dasar *Kriging*. *CoKriging* menghitung perkiraan atau prediksi dengan sampel minimum dengan bantuan variabel yang lebih baik (*covariable*). Variabel harus dengan korelasi tinggi (positif atau negatif). *CoKriging* baik untuk mendapatkan hasil yang presisi. *CoKriging* menggunakan semivariogram kovarian dengan memperhitungkan bobot $S w_i = 1$ and $S h_j = 0$ dan metode *Kriging* (Deutsch & Journel, 1992 dalam ilwis, 2009). Nilai variogram

dengan model semivariogram g_A , g_B dan model silang variogram untuk observasi *predictand* A_i dan n observasi dari *covariable* B_j sesuai dengan persamaan *CoKriging*.

$$s^2 = S w_i g_A(h_i) + S h_j g_{AB}(h_j) + m_1$$

3 PELAKSANAAN

Setiap pengukuran mempunyai kesalahan ukur, baik kesalahan acak maupun kesalahan tidak acak (Arsana dan Julzarika, 2006). Pemerataan titik kontrol dalam jaring kontrol geodetik mempengaruhi akurasi dan presisi data (Julzarika, 2007). Proses interpolasi *CoKriging* ini menggunakan data DSM SRTM90 dibantu dengan satu *basepoint* dan satu titik referensi serta sejumlah titik batimetri. Semua data tersebut dijadikan menjadi satu kesatuan sehingga dapat menghasilkan akurasi dan presisi yang lebih baik. Berikut hasil penggabungan DSM SRTM90 dengan data batimetri.

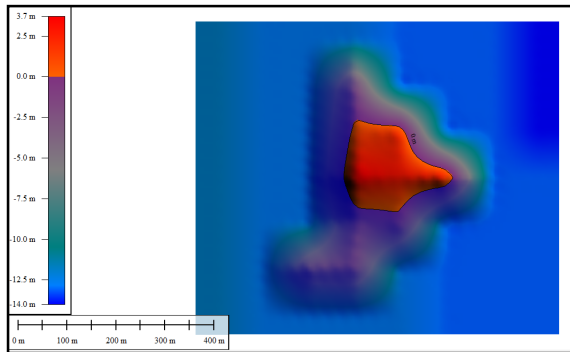


Gambar 3-1: DSM SRTM90 + Batimetri

Setelah penggabungan semua data tersebut, maka kemudian dilakukan interpolasi *CoKriging* dengan kriteria model semivariogram sebagai berikut: *Component Type* (Spherical); *Anisotropy Angle* (0) *Anisotropy Length* (1) *Anisotropy Ratio* (1); *Variogram Scale* (1) *Polynomial Drift Order* (0).

Setelah dilakukan interpolasi *CoKriging* maka diperoleh DSM dengan resolusi spasial 7 m. Kemudian DSM tersebut dilakukan koreksi DSM2DEM sehingga diperoleh DEM dengan resolusi spasial 7 m. Akurasi vertikal yang

diperoleh <5m setelah dilakukan perbandingan matematika sederhana terhadap data untuk *CoKriging*.

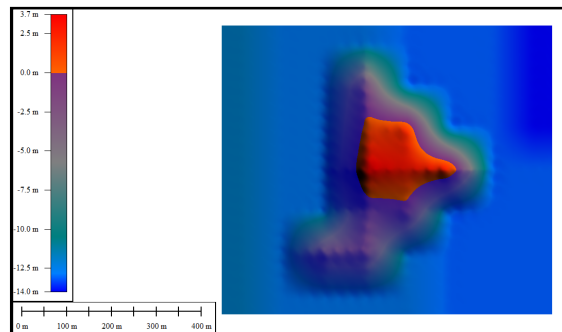


Gambar 3-2: DEM 7 m

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Interpolasi *Spline*

Hasil DEM 7 m tersebut dapat dibuat lebih halus lagi dengan menggunakan metode Interpolasi *Spline* yaitu memasukkan persamaan *Spline* ke dalam hasil DEM 7 m tersebut. DEM yang diperoleh akan lebih halus dengan kondisi resolusi spasial dan akurasi vertikal yang sama.

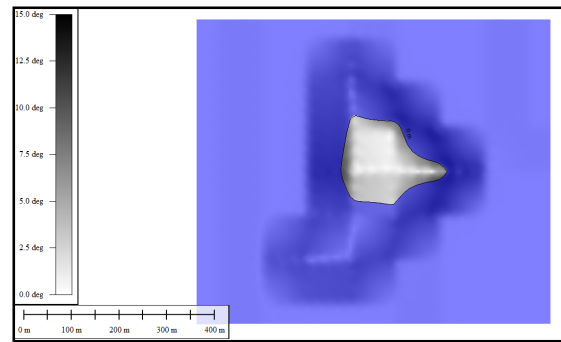


Gambar 4-1: *Spline Smooth*

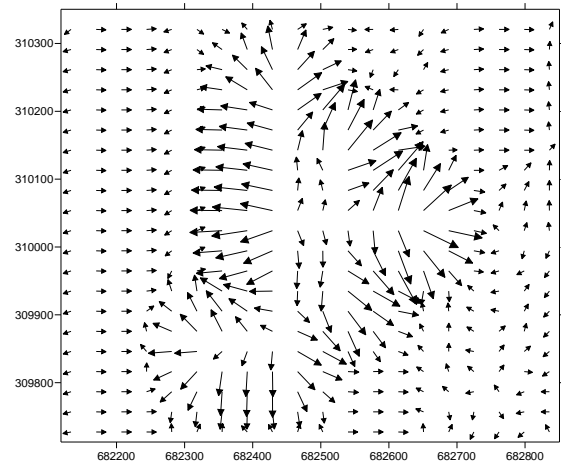
4.2 Aplikasi DEM

Hasil DEM tersebut bisa digunakan untuk berbagai aplikasi, baik yang bersifat keteknikan maupun yang non teknik. Aplikasi tersebut dapat berupa kajian kenaikan muka air laut terhadap parameter geobiofisik, prediksi kelangsungan suatu pulau, aliran permukaan, *slope*, kontur, *isobaths* dan lain-lain. Gambar 4-1 merupakan aplikasi untuk penentuan *slope*/kemiringan pada wilayah topografi dan batimetri. Selain itu juga bisa diaplikasikan untuk

kajian survei rekayasa laut dan aliran hidrologi Gambar 4-2.



Gambar 4-2: *Slope direction*

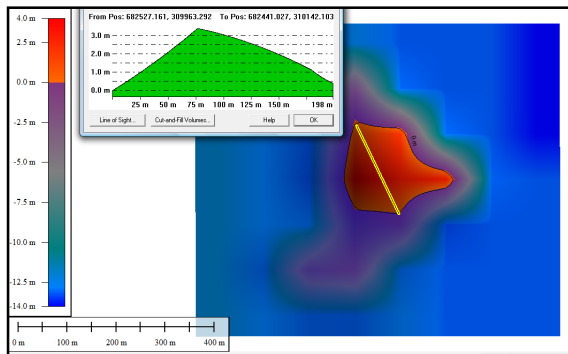


Gambar 4-3: Aplikasi pada rekayasa laut dan aliran permukaan

4.3 Uji Profil Melintang

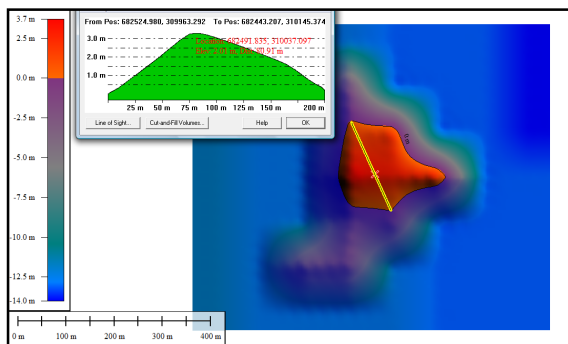
DEM yang dihasilkan tersebut akan dicek kelayakannya berdasarkan tampilan konturnya. Pada penelitian ini, kenampakan kontur sudah merepresentasikan keadaan wilayah di puncak Gunung Semeru dengan nilai akurasi tertentu dan tingkat presisi tertentu juga. Jika pengujian dengan kenampakan kontur sudah sesuai dengan kenampakan pada DEM maka proses selanjutnya adalah uji *range*. Nilai yang benar pada masing-masing titik penelitian tersebut hanya terdapat pada *Range Z* ($Z-dzi$ s/d $Z+dzi$ meter). *Range* ini merupakan syarat mutlak dalam penurunan DSM ke DEM sedangkan nilai yang berada di luar *range* merupakan *Bull Eye's*. Istilah ini sering digunakan dalam interpolasi kontur. Gambar 4-4 merupakan tampilan uji

profil melintang pada DSM SRTM90 + Batimetri.



Gambar 4-4: Uji profil melintang DSM SRTM90 + Batimetri

Bull Eye's bisa disebabkan oleh interpolasi kontur yang salah akibat penyebaran titik tinggi yang tidak merata atau bisa juga disebabkan oleh nilai titik tinggi yang tidak sesuai dengan yang sebenarnya. *Bull Eye's* merupakan titik, garis, atau area yang mempunyai nilai ketinggian, akan tetapi nilai tersebut tidak merepresentasikan keadaan sebenarnya di lapangan. Jika ada wilayah yang tidak sesuai dengan uji *range* ini, maka dilakukan lagi penentuan pola dan model supaya dapat mencakupi seluruh wilayah di model 3D tersebut. Titik penelitian bisa ditambah jika terjadi pada kasus khusus, misal pada daerah yang ekstrim seperti daerah pegunungan. Gambar 4-5 merupakan tampilan uji profil melintang pada DEM turunan DSM SRTM90.



Gambar 4-4: Uji profil melintang DEM 7

DEM yang telah dibuat harus diuji, baik secara statistik maupun secara non-statistik. Uji secara non-statistik bisa berupa tampilan. Uji tampilan DEM ini menggunakan metode profil melintang. Profil merupakan kenampakan objek baik secara topografi maupun non topografi. Profil terbagi atas dua macam, yaitu profil memanjang dan profil melintang. Profil melintang merupakan kenampakan objek secara melintang secara tegak lurus terhadap sumbu objek tersebut. Contoh profil melintang adalah kenampakan melintang dari jalan, profil melintang sungai, *continental shelf*, pegunungan, perbukitan, dan lain-lain.

Profil memanjang merupakan kenampakan objek memanjang mengikuti sumbu objek tersebut, misal profil as jalan, *breakline*, garis antar *thalweg* sungai. Profil melintang yang dibuat meliputi area utara ke selatan. Profil tersebut meliputi kenampakan hutan, sungai, dan aliran permukaan lainnya. Profil melintang tersebut mencerminkan kenampakan DEM wilayah tersebut.

Selain itu juga dilakukan uji ketelitian secara geo-statistik dengan menggunakan hitung perataan kuadrat terkecil metode parameter dan diperoleh akurasi vertikal <5 m untuk DEM turunan SRTM90. Berikut hasil geostatistik metode univariate dan *nearest neighbor*. Dari hasil tersebut, nilai standar deviasi yang diperoleh pada *nearest neighbor* statistik lebih kecil dari toleransi 3σ sehingga secara uji global hasil pemodelan 3D dengan interpolasi *CoKriging* ini sudah bisa digunakan untuk kepentingan survei dan pemetaan.

Univariate statistik

Variance:	45798.118945	34861.6715376	17.7624408406
Standard Deviation:	214.004950749	186.712804964	4.21455108411
Interquartile Range:	370.626	318.902	3.075
Range:	732.17	637.819	17.717
Mean Difference:	247.169915517	215.644143257	4.03166806152
Median Abs. Deviation:	181.184	159.452	1.149
Average Abs. Deviation:	185.287285714	161.630936369	2.64032439177
Quartile Dispersion:	0.000271527069938	0.000514305947074	N/A
Relative Mean Diff.:	0.000362162002947	0.000695555858263	N/A
Standard Error:	5.34511507007	4.66345018701	0.105265137252
Coef. of Variation:	0.000313567536897	0.000602238406963	N/A
Skewness:	0.000145289305694	-3.57774823945e-005	1.69641499703
Kurtosis:	1.79741630771	1.79719521146	4.83504090231
Sum:	1094022485.38	496980303.643	-16236.239
Sum Absolute:	1094022485.38	496980303.643	16552.557
Sum Squares:	7.46653347553e+014	1.54079545686e+014	192906.744553
Mean Square:	465784995354	96119492006	120.341075828

Nearest Neighbour statistik

Variance:	0.020851205077	0.295448571224
Standard Deviation:	0.144399463562	0.543551810984
Interquartile Range:	6.72824479686e-006	0.517
Range:	5.78219166549	2.763
Mean Difference:	0.00760343020426	0.505612698724
Median Abs. Deviation:	8.27053980856e-011	0.108
Average Abs. Deviation:	0.00384086314285	0.333574547723
Quartile Dispersion:	2.38257896264e-007	N/A
Relative Mean Diff.:	0.000538362350744	1.43968601422
Standard Error:	0.00360660697846	0.013576073666
Coef. of Variation:	0.0102242320323	1.54771417382
Skewness:	39.9621192496	1.76187376589
Kurtosis:	1598.9789883	5.37585940539
Sum:	22639.5820595	562.968
Sum Absolute:	22639.5820595	562.968
Sum Squares:	319778.054803	671.021006
Mean Square:	199.487245666	0.418603247661

5 KESIMPULAN

Pemodelan 3D Pulau Batu Mandi menggunakan DSM SRTM90 yang dibantu dengan satu basepoint, satu titik referensi dan sejumlah titik batimetri. Pemodelan 3D ini menggunakan interpolasi CoKriging. Hasil DSM ini kemudian dilakukan koreksi DSM2DEM untuk memperoleh DEM Pulau Batu Mandi. Kemudian dilakukan *spline smooth* untuk membuat tampilan DEM menjadi lebih smooth. DEM yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi keteknikan dan non keteknikan.

DAFTAR RUJUKAN

Abubakar, M., 2006. *Menata Pulau-Pulau Kecil Perbatasan*. Cetakan pertama. PT. Kompas Media Nusantara. Jakarta. Indonesia.

Arsana, I.M.A., 2007. *Batas Maritim Antar Negara*. Cetakan pertama. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. Indonesia.

Arsana, I.M.A. and Julzarika, A., 2006. *Liscad: Surveying & Engineering Software*. Leica GeoSystem. Jakarta. Indonesia.

- Bakosurtanal, 2002, *PP No. 38 tahun 2002*. website: www.bakosurtanal.go.id. Bakosurtanal. Indonesia.
- Diposaptono, S. et al., 2009. *Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. Cetakan pertama. PT. Sarana Komunikasi Utama. Bogor. Indonesia.
- Ilwis Academics, 2009. *Point Interpolation (Kriging and CoKriging)*. Basic concepts, ITC, Netherland.
- Julzarika, A., 2007. *Analisa Perubahan Koordinat Akibat Proses Perubahan Format Tampilan Peta pada Pembuatan Sistem Informasi Geografis Berbasis Internet*, Skripsi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika FT UGM, Yogyakarta.
- Julzarika, A. and Sudarsono, B., 2009. *Penurunan Model Permukaan Dijital (DSM) menjadi Model Elevasi Dijital (DEM) dari Citra Satelit ALOS Palsar*. Jurnal Teknik UNDIP. Semarang.
- Li, Z., Zhu, Q., and Gold, C., 2005. *Digital Terrain Modeling Principles and Methodology*. CRC Press. Florida. USA.
- Moffitt, F. H. And Mikhail, E. M., 1980. *Photogrammetry*. Edisi Kedua, Harper and Row Publisher, Newyork, USA.
- Surfer, 2009. *Kriging Interpolation*. Basic Concepts, Golden Software Inc., Colorado. USA.
- Widjajanti, N., dan Sutanta, H. 2006. *Model Permukaan Digital*, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universtas Gadjah Mada, Yogyakarta.