

EKSTRAKSI OTOMATIS INFORMASI DEM DARI CITRA STEREO PRISM-ALOS

Bambang Trisakti

Researcher of Remote Sensing Application and Development Center (LAPAN)
E-mail: btris01@yahoo.com

ABSTRACT

ALOS satellite was launched on January 24th 2006 and is equipped by PRISM sensor which has a mission to produce stereoscopic image. PRISM is a panchromatic radiometer with 2.5 spatial resolution, and it has 3 telescopes for recording the image from nadir, forward and backward views. Combination of 2 images or more from different view is known as stereoscopic image which is useful to generate earth surface height or DEM (Digital Elevation Model). Automatic DEM extraction was done by area-based matching technique using PRISM DEM software. This technique correlates area/pixel in master image with same area/pixel in target image based on grey value similarity of pixel. Relief displacement (parallax) of each area/pixel was extracted from the correlation process, and then it was used to generate earth surface height or DEM. The generated DEM was compared with reference data (SRTM X and C band) to analyze the level of DEM accuracy. The result shows that DEM from automatic extraction needs geoids correction (Earth surface relief correction). After doing the correction, the DEM has similar distribution height but smoother DEM pattern than the referenced DEM. Finally, RMSE of PRISM DEM are around 16 m relative to the referenced DEM.

ABSTRAK

Satelit ALOS yang diluncurkan pada bulan Januari 2006 dilengkapi dengan sensor PRISM yang salah satu misinya untuk menghasilkan citra stereo. PRISM adalah radiometer pankromatik dengan resolusi spasial 2.5 m dan mempunyai 3 teleskop untuk merekam citra dari arah nadir, depan dan belakang. Kombinasi citra yang direkam dari arah berbeda merupakan citra stereo yang dapat diproses untuk menghasilkan informasi ketinggian permukaan bumi atau DEM (*Digital Elevation Model*). Ekstraksi otomatis DEM dari citra stereo dilakukan dengan melakukan proses *image matching* menggunakan teknik *area-based matching*. Teknik ini digunakan untuk mengkorelasikan area/piksel pada citra utama dengan area/piksel yang sama pada citra target berdasarkan kesamaan nilai keabuan dari piksel. Dari korelasi tersebut diperoleh jarak paralak yang digunakan untuk menurunkan ketinggian obyek yang terekam pada citra. Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi otomatis DEM dari citra stereo PRISM menggunakan *software* Prism DEM. DEM yang dihasilkan dibandingkan dengan data *reference* (SRTM band X and C) untuk menganalisis tingkat akurasi. Hasil memperlihatkan bahwa DEM hasil ekstraksi otomatis memerlukan koreksi *geoid* (koreksi bentuk muka bumi). DEM hasil koreksi mempunyai distribusi ketinggian yang relatif sama, tetapi pola DEM yang lebih halus dibandingkan dengan DEM referensi. RMSE untuk perbedaan ketinggian antara DEM PRISM dan DEM referensi sebesar 16 m.

Kata kunci : DEM, citra stereo, PRISM-ALOS

1 PENDAHULUAN

Informasi topografi yang bersumber dari data DEM dapat dihasilkan menggunakan citra stereo satelit penginderaan jauh. Citra stereo merupakan 2 atau lebih citra yang diambil dari sudut perekaman yang berbeda untuk lokasi yang sama di permukaan bumi. Saat ini banyak satelit/sensor resolusi tinggi sudah dilengkapi dengan kemampuan untuk mengambil citra stereo seperti, satelit: SPOT, ALOS dan ASTER. ALOS adalah satelit milik Jepang yang diluncurkan pada tanggal 24 Januari 2006 yang membawa 3 instrumen sensor yaitu PRISM, AVNIR dan PALSAR. PRISM (*The panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping*) adalah sensor untuk merekam citra optis pankromatik pada panjang gelombang 0.52 – 0.77 mm dan mempunyai resolusi spasial 2.5 m. Sensor ini mempunyai 3 teleskop untuk merekam citra stereo dari arah depan (*Forward*), arah tegak lurus (*Nadir*) dan arah belakang (*Backward*) searah dengan orbit satelit (*along track*). Kombinasi citra stereo tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan DEM dengan akurasi yang cukup untuk memetakan permukaan bumi dalam skala 1:25.000 atau lebih besar. Teleskop pada arah tegak lurus dapat merekam citra dengan lebar 70 Km, sedangkan arah depan dan arah belakang merekam dengan lebar sebesar 35 Km. Sudut yang dibentuk teleskop arah depan dan arah belakang terhadap arah tegak lurus adalah 24° , ini bertujuan untuk menghasilkan data stereo dengan rasio lebar/tinggi (*base to height ratio*) yang mendekati nilai 1 (JAXA, 2006).

Penelitian yang terkait dengan penurunan DEM dan pengujian tingkat akurasi menggunakan citra stereo optis PRISM telah dilakukan oleh beberapa peneliti, aik yang menggunakan data

simulasi PRISM ALOS ataupun menggunakan data rekaman sensor PRISM (Chen T. *et al.* (2004), JAXA (2006)) seperti pada Tabel 1-1. Tetapi karena satelit ALOS memang relatif baru maka penelitian tersebut masih terhitung sedikit dibandingkan dengan penelitian-penelitian sejenis untuk citra stereo satelit lain, seperti : citra stereo SPOT atau ASTER. Padahal melihat kemampuannya maka satelit ALOS khususnya citra stereo optis PRISM sangat bermanfaat untuk memetakan topografi dengan skala tinggi untuk wilayah Indonesia yang mempunyai beragam variasi ketinggian. Berdasarkan hal tersebut di atas sangat diperlukan suatu kajian mengenai metode penurunan data DEM dan tingkat akurasi dari DEM yang dihasilkan dengan menggunakan citra stereo optis PRISM untuk wilayah Indonesia. Dimana hasil kajian tersebut akan menjadi referensi yang sangat bermanfaat bagi kegiatan pemetaan topografi wilayah Indonesia.

Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi otomatis DEM dari citra stereo optis PRISM menggunakan *software* Prism DEM untuk daerah gunung Merapi dan sekitarnya. Selanjutnya DEM yang dihasilkan dibandingkan dengan data *reference* (SRTM X- and C- band) untuk menganalisis tingkat akurasi.

Tabel 1-1: AKURASI DARI DEM PRISM DAN DEM SRTM BERDASARKAN BEBERAPA PENELITIAN

Nama Sensor	Akurasi DEM	Keterangan
PRISM ALOS	< 3 m (93%)	(Chen T. <i>et al.</i> , 2004)
PRISM ALOS	< 6.5 m	(JAXA, 2006)
SRTM band X	3 – 5 m	(Gesch D., 2005)
SRTM band X dan C	5.6 – 9.6 m	(Yastikh E., 2006)

2 PENGUKURAN KETINGGIAN DARI DATA CITRA STEREO

Gambar 2-1 memperlihatkan algoritma pengukuran tinggi objek Δh dari perbedaan paralaks (jarak paralaks) Δp pada sistem stereo sensor ASTER (Lang H.; and Welch (1999), Trisakti *et al.* (2006)). Objek pada permukaan bumi dengan ketinggian Δh , direkam dengan dua teleskop dari arah 1 (tegak lurus) dan arah 2 (miring). Teleskop 1 akan melakukan merekam bagian puncak dan bagian dasar objek pada waktu yang sama (waktu t_1), sedangkan teleskop 2 akan merekam terlebih dahulu pada bagian puncak objek (waktu t_2 dan jarak X_2 dari posisi rekam sensor 1) kemudian merekam bagian dasar (waktu t_3 dan jarak X_1 dari posisi rekam sensor 1). Sehingga terjadi perbedaan waktu dan jarak untuk merekam antara bagian puncak dan dasar obyek sebesar t_3-t_2 dan X_1-X_2 . Perbedaan ini akan mengakibatkan terjadinya perbedaan posisi antara puncak dan dasar objek pada citra perekaman arah miring, sedangkan pada citra perekaman tegak lurus, puncak atau dasar objek akan mengacu hanya pada posisi dasar objek. Perbedaan ini disebut perbedaan paralaks atau jarak paralaks Δp yang besarnya sama dengan jarak perekaman arah miring antara puncak dan dasar objek X_1-X_2 , atau $\Delta p = X_1-X_2$. Sudut arah miring terhadap garis vertikal (atau sudut yang dibentuk antara teleskop 1 dan teleskop 2) adalah sebesar α , dimana $\tan \alpha$ senilai dengan X_1 dibagi ketinggian satelit dari permukaan bumi, atau B/H . Jadi persamaan yang dapat dibentuk adalah sebagai berikut:

$$\Delta p = X_1 - X_2 \quad (2-1)$$

$$\tan \alpha = B/H \quad (2-2)$$

Selanjutnya ketinggian objek Δh dapat dihitung dengan formula trigonometri sederhana yaitu: $\tan \alpha = (X_1 - X_2) /$

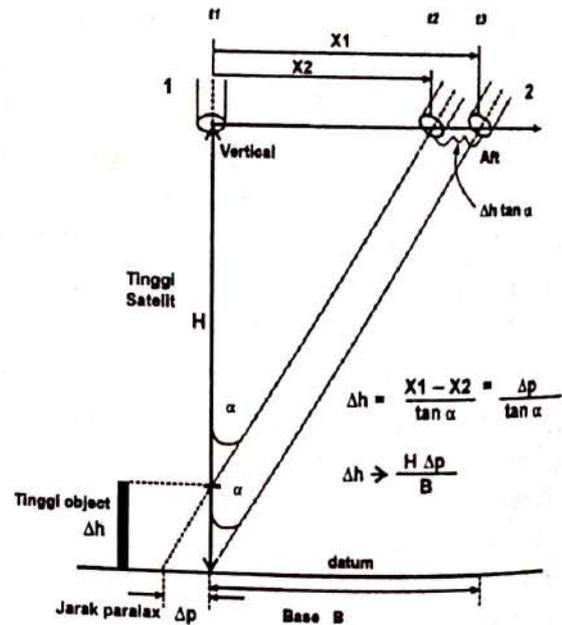
Δh . Sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut:

$$\Delta h = (X_1 - X_2) / \tan \alpha \quad (2-3)$$

$$\Delta h = \Delta p / (B/H) \quad (2-4)$$

$$\Delta h = H * \Delta p / B \quad (2-5)$$

Dari Persamaan ini diketahui bahwa ketinggian objek dapat ditentukan dengan cara menentukan jarak paralaks terlebih dahulu.



Gambar 2-1: Pendekatan pengukuran ketinggian Δh dari perbedaan paralaks (jarak paralaks) Δp pada sistem stereo (Sumber: Lang H. and Welch (1999), Trisakti *et al.* (2006))

3 MATERIAL DAN METODE

Data yang digunakan adalah data PRISM ALOS level 1B2R (Geo reference data) untuk kombinasi arah tegak lurus (N) dan arah depan (F), yaitu data yang sudah dilakukan proses mozaik dan mengalami koreksi sistematis. Data yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 3-1. Daerah penelitian terletak di kaki gunung Merapi, Kabupaten Boyolali dan sekitarnya. Topografi wilayah ini mempunyai ketinggian yang sangat bervariasi mulai dari 800 m hingga mencapai ketinggian 2500 m dari permukaan laut.

Proses ekstraksi otomatis DEM dari citra stereo dilakukan dengan menggunakan software ALOS PrismDEM ver. 2.0 yang dibuat oleh Dr. Makoto Ono dari RESTEC (*Remote Sensing Technology Center of Japan*). Alur pembuatan DEM secara umum dibagi menjadi 2 bagian besar, yaitu: tahap pertama adalah proses *image matching* menggunakan teknik *area-based matching* (melakukan korelasi antara area/piksel pada dua citra stereo berdasarkan kesamaan nilai keabuan dari piksel). Korelasi dilakukan dengan menghitung nilai koefisien korelasi tertinggi untuk menentukan piksel yang sama yang terdapat pada citra utama dan citra target. Tahap kedua adalah perhitungan jarak paralaks yang terjadi pada setiap piksel, dan ekstraksi ketinggian untuk setiap piksel tersebut.

3-1 Tahap Pertama (*Image matching*)

Pada tahap awal dilakukan pembuatan *pyramid layer*, yaitu membuat beberapa level citra yang mempunyai resolusi lebih rendah dari citra asli, disini dibuat 4 level citra, yaitu resolusi: 1/4 resolusi awal (10 m), 1/8 resolusi awal (20 m), 1/16 resolusi awal (40 m) dan 1/32 resolusi awal (80 m). Korelasi dilakukan pada level terendah (1/32 resolusi awal) terlebih dahulu, kemudian secara bertahap dinaikan resolusi hingga menjadi 1/4 resolusi awal. Korelasi menggunakan model piramid *layer* digunakan untuk mempersingkat waktu proses dan mempertinggi tingkat akurasi dari korelasi tersebut. Selanjutnya dilakukan *masking* awan/air dan pembuatan titik ikat di 4 titik sudut dari citra. *Masking* dilakukan untuk membatasi suatu wilayah sehingga wilayah tersebut tidak menjadi *error* dalam proses korelasi, sedangkan titik ikat dilakukan sebagai *matching* awal dari citra *master* dan target. Berikutnya perlu dilakukan pembuatan beberapa

titik ikat tambahan (*seed point*) sebagai referensi dalam proses korelasi sehingga proses dapat lebih cepat dan akurat.

Proses berikutnya adalah melakukan korelasi otomatis antara piksel pada citra master dan citra target. Pada citra master ditetapkan sebuah piksel, kemudian dilakukan pencarian piksel yang sama pada citra target. Pencarian dilakukan dengan metoda *line moving* (melakukan *scan* pada sumbu X dan bergeser kearah sumbu Y) dan *search windows* (Pencarian dilakukan menggunakan *window* ukuran tertentu). Besarnya ukuran *line moving* dan *search windows* yang digunakan dapat diseting sesuai dengan keinginan, tapi umumnya menggunakan *scan* 3 piksel sumbu X dan 7 piksel sumbu Y untuk *line moving* (Total *scan* terhadap 21 piksel) dan 9 X 9 piksel untuk *search windows*. Proses korelasi menggunakan koefisien korelasi yang ditampilkan seperti persamaan 3-1 (Leica Geosystem, 2002). Nilai koefisien korelasi tertinggi (ρ) akan dijadikan dasar bahwa piksel pada citra master

$$\rho = \frac{\sum_{i,j} |g_1(c_1, r_1) - \bar{g}_1| |g_2(c_2, r_2) - \bar{g}_2|}{\sqrt{\sum_{i,j} |g_1(c_1, r_1) - \bar{g}_1|^2 \sum_{i,j} |g_2(c_2, r_2) - \bar{g}_2|^2}} \quad (3-1)$$

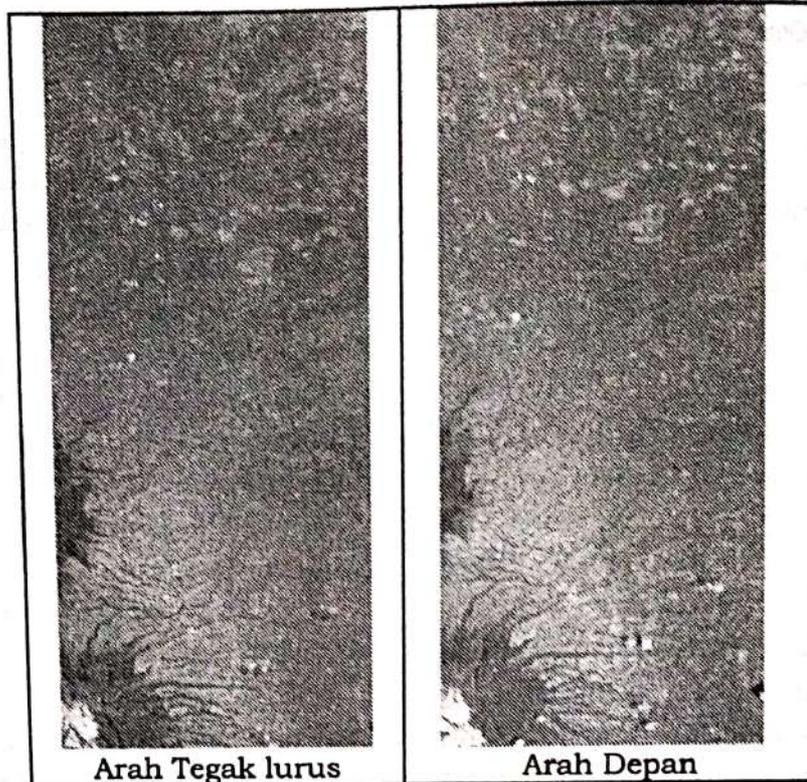
sama dengan citra target.

dengan,

$$\bar{g}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} g_1(c_1, r_1) \quad \bar{g}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} g_2(c_2, r_2)$$

Keterangan:

- ρ = Koefisien korelasi
- $g(c,r)$ = Nilai keabuan dari piksel (c,r)
- c_1, r_1 = Koordinat piksel pada citra utama
- c_2, r_2 = Koordinat piksel pada citra target
- n = Jumlah total piksel pada window
- i, j = Indeks piksel dalam search window



Gambar 3-1: Citra stereo sensor PRISM ALOS

3-2 Tahap Kedua (Ekstraksi DEM)

Proses korelasi otomatis menghasilkan informasi besarnya jarak antara piksel yang sama pada citra master dengan citra target atau lebih dikenal dengan jarak paralak. Kemudian dilakukan perhitungan ketinggian untuk setiap piksel berdasarkan jarak paralak yang diperoleh. Algoritma penurunan DEM diperlihatkan pada persamaan 3-2. Proses editing dilakukan untuk melakukan interpolasi pada piksel yang tidak mempunyai nilai ketinggian akibat terjadi *error* atau tingkat korelasi yang rendah. Editing juga dapat dilakukan dengan mengisi nilai pada suatu wilayah yang diketahui ketinggiannya, sebagai contoh danau diberi nilai ketinggian yang sama dengan ketinggian daerah yang bersinggungan dengan danau tersebut. Proses editing ini menghasilkan data sebaran DEM di lokasi penelitian.

$$\Delta h = \Delta p * d * H/B \tag{3-2}$$

Keterangan:

Δh = Ketinggian

Δp = Jarak paralak

d = Resolusi spasial, 2.5 m

Data DEM yang dihasilkan akan diuji tingkat akurasi dengan mem-

bandingkan data tersebut dengan data referensi yaitu: SRTM band X dan C spasial 30 m dengan akurasi berkisar 3 – 9 m seperti pada Tabel 4-1 (Gesch D. (2005), Yastikh *et al.* (2006)). Data SRTM ini diperoleh dari DLR (*German Aerospace Center*). Penggunaan DEM SRTM band X dan C yang mempunyai resolusi lebih rendah disebabkan karena keterbatasan data referensi, tetapi walaupun begitu DEM SRTM mempunyai akurasi vertikal yang memadai sebagai data pembanding DEM PRISM dari ALOS.

4 HASIL DAN DISKUSI

Table 4-2 memperlihatkan perbandingan nilai uji statistik antara DEM dari data stereo PRISM yang dihasilkan menggunakan model ekstraksi otomatis dan DEM referensi. Sedangkan Gambar 4-1 memperlihatkan perbandingan pola ketinggian dari kedua DEM. Dari hasil uji statistik diketahui bahwa nilai rata-rata ketinggian antara kedua DEM tidak terlalu berbeda, tetapi DEM PRISM mempunyai *range* (perbedaan nilai antara nilai minimum dan maksimum) yang lebih besar dibandingkan dengan DEM referensi. Perbedaan ini mungkin disebabkan karena beberapa hal, yaitu:

Tabel 4-1: PERBANDINGAN NILAI STATISTIK DARI DEM

	Nilai Min. (m)	Nilai Max. (m)	Nilai rata-rata (m)
DEM PRISM	312	2980	909
DEM referensi	468	2643	872

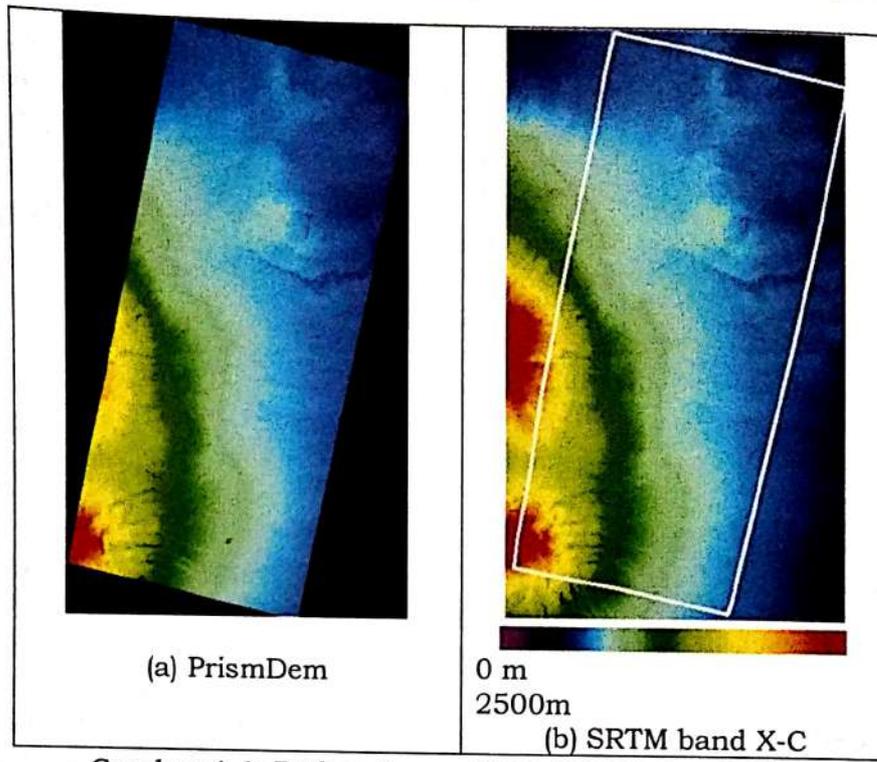
- Terjadinya tingkat korelasi yang rendah saat proses *matching* sehingga menghasilkan nilai DEM yang lebih tinggi atau lebih rendah dari semestinya. Beberapa *error* terlihat dalam bentuk *spot-spot* yang mempunyai ketinggian berbeda dibandingkan dengan daerah sekitarnya, seperti pada Gambar 4-2.
- Perbedaan titik acuan ketinggian, di mana algoritma perhitungan DEM yang digunakan beracuan pada model bumi berbentuk *Elipsoid*. Sedangkan SRTM sudah beracuan pada model *Geoid* atau muka bumi yang sebenarnya berdasarkan tinggi muka laut.

Gradasi warna dari warna pink/ biru ke warna merah memperlihatkan perubahan elevasi yang semakin bertambah tinggi. Daerah penelitian terdapat di dalam kotak putih pada DEM referensi. Kedua DEM mempunyai pola distribusi ketinggian yang relatif sama, tetapi dari pengamatan secara visual dengan *zooming* terlihat bahwa DEM dari stereo PRISM mempunyai tingkat kedetilan dan gradasi warna yang lebih halus. Ini disebabkan karena DEM dari stereo PRISM mempunyai resolusi spasial 10 m, atau 3 kali lebih baik daripada DEM referensi dengan resolusi spasial 30 m.

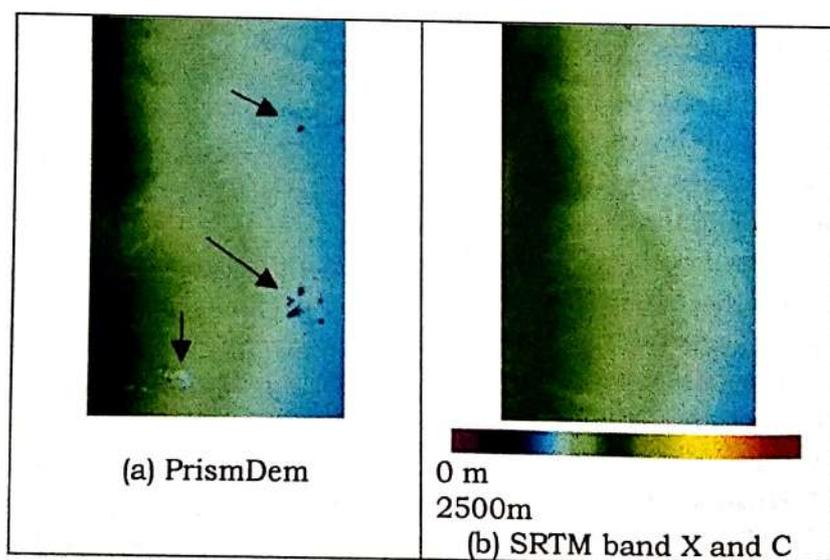
Gambar 4-3 memperlihatkan perbandingan distribusi ketinggian sepanjang garis transek vertikal dan horisontal antara DEM PRISM dan Dem referensi. Terlihat bahwa secara pola DEM PRISM mempunyai pola distribusi yang sama dengan DEM referensi, tetapi secara nilai diketahui bahwa ketinggian DEM PRISM lebih besar dibandingkan dengan DEM referensi. Perbedaan nilai antara kedua DEM relatif sama di sepanjang

garis transek, dengan arti lain bahwa perbedaan tersebut terjadi secara sistematis. Rata-rata perbedaan yang terjadi antara kedua DEM tersebut adalah 55 m. Alasan terjadinya perbedaan ini telah dijelaskan sebelumnya yaitu karena adanya perbedaan titik acuan dalam perhitungan ketinggian. Ketinggian yang diturunkan dengan metode ekstraksi otomatis menggunakan *base to height ratio* yang beracuan pada model *elipsoid*, yaitu bumi dimodelkan sebagai bentuk elips dan garis elips tersebut dijadikan titik 0 m untuk mengukur ketinggian objek di permukaan bumi. Sedangkan ketinggian pada DEM referensi telah mengalami proses koreksi sehingga telah mengacu pada model *geoid*, yaitu bumi dalam bentuk yang sebenarnya naik dan turun yang disebabkan perbedaan gravitasi yang berbeda di setiap lokasi yang dipacu karena perbedaan jenis tanah dan batuan. Umumnya model *geoid* dapat disamakan dengan rata-rata tinggi muka laut, di mana tinggi muka laut dijadikan titik 0 m. Perbedaan antara tinggi elipsoid dan tinggi *geoid* disebut undulasi, yang dapat bernilai positif atau negatif.

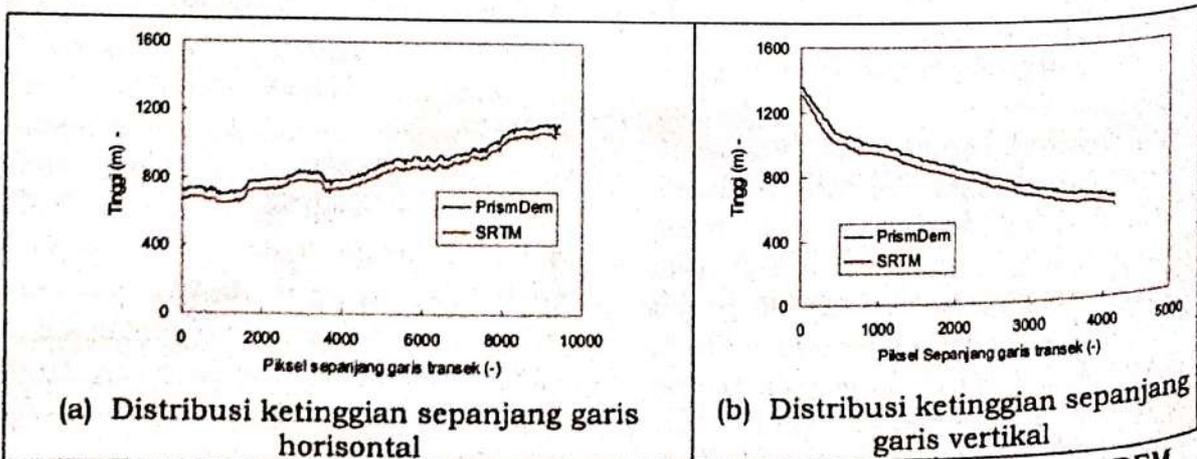
Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa DEM yang dihasilkan dalam proses ekstraksi otomatis masih memerlukan koreksi *geoid* dengan mengurangi ketinggian yang diperoleh dengan undulasi di lokasi tersebut. Pada penelitian ini tidak digunakan distribusi undulasi, tetapi hanya mengurangi nilai DEM tersebut dengan rata-rata perbedaan ketinggian (55 m) antara DEM PRISM dan DEM referensi yang dapat diasumsikan sebagai rata-rata nilai undulasi di lokasi tersebut.



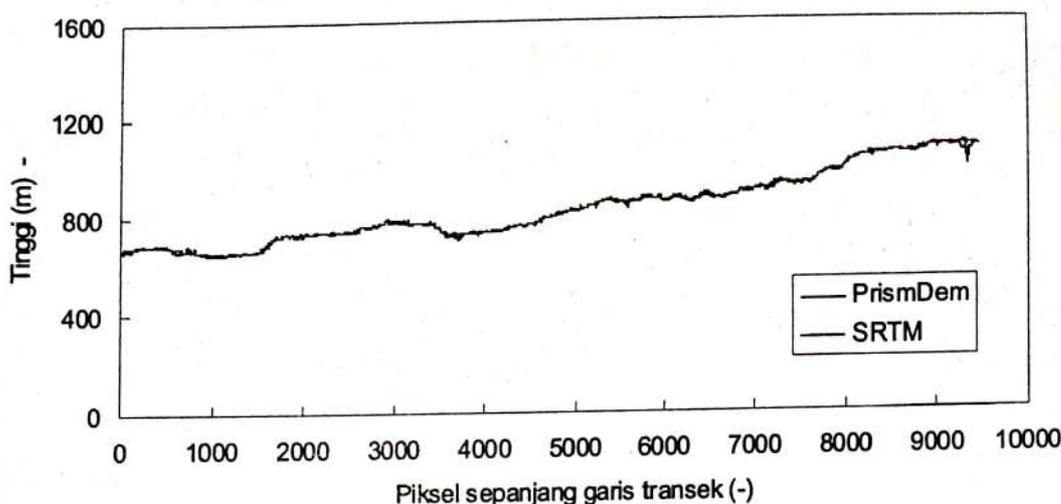
Gambar 4-1: Perbandingan DEM PRISM dan SRTM



Gambar 4-2: Error akibat korelasi yang rendah pada proses matching



Gambar 4-3: Perbandingan distribusi ketinggian sepanjang garis transek citra DEM



Gambar 4-4:Perbandingan distribusi ketinggian sepanjang garis transek horisontal

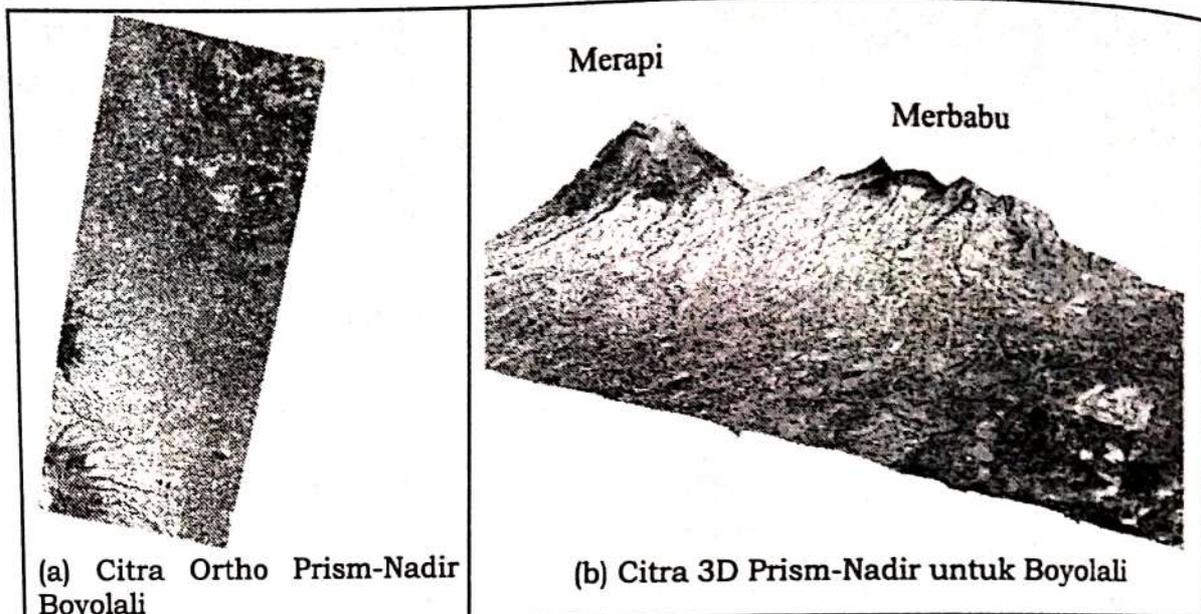
Tabel 4-2: NILAI UJI STATISTIK PERBEDAAN ANTARA DEM PRISM DAN DEM REFERENSI

	Min. (m)	Max. (m)	rata-rata (m)	RMSE (m)
DEM PRISM - DEM referensi	-18	38	1.6	16

Perbandingan distribusi ketinggian antara DEM PRISM yang telah terkoreksi dan DEM referensi sepanjang garis transek horisontal diperlihatkan pada Gambar 4-4. Perbedaan yang semula terjadi pada Gambar 4-3 dapat dihilangkan dan pola serta nilai dari DEM PRISM menjadi sangat mendekati dengan pola dan nilai dari DEM referensi. Pengujian tingkat akurasi dari DEM dilakukan dengan mengurangkan DEM PRISM dengan DEM referensi, kemudian melakukan perhitungan statistik terhadap perbedaan antara kedua data tersebut, seperti: nilai minimum, maksimum, rata-rata dan RMSE (*Root Mean Square Error*). Perhitungan ini dilakukan terhadap seluruh citra DEM, sekitar 2.8 juta piksel. Hasil pada Tabel 4-2 memperlihatkan bahwa RMSE yang terjadi antara DEM PRISM dan DEM referensi sekitar 16 m. Nilai RMSE dapat diperkecil dengan cara mempertimbangkan beberapa faktor, yang salah satunya adalah menambah modul pada *programming* untuk memodelkan bentuk kurva bumi (*geoid*), sehingga diperoleh nilai ketinggian

yang lebih mendekati ketinggian sebenarnya dipermukaan bumi.

Data DEM merupakan data yang sangat penting untuk menyelesaikan beberapa permasalahan, seperti kesalahan geometrik. Kesalahan geometrik dapat digolongkan menjadi kesalahan geometrik sistematis (pengaruh rotasi bumi, kesalahan instrumen dll), dan kesalahan non-sistematis (pembelokan gelombang oleh atmosphere, bentuk kurva bumi, ketinggian permukaan bumi). Cara yang umum digunakan untuk mengurangi kesalahan geometrik adalah penggunaan GCP dan proses orthorektifikasi. Koreksi orthorektifikasi dilakukan untuk citra PRISM-Nadir menggunakan GCP dari citra ortho Landsat-7 ETM dan DEM PRISM, kemudian dilakukan penggabungan untuk membuat tampilan citra 3D. Hasil citra ortho dan tampilan citra 3D diperlihatkan seperti Gambar 4-5. Terlihat bahwa daerah penelitian merupakan daerah dengan elevasi bervariasi dari ketinggian yang rendah kaki gunung sampai ketinggian yang tinggi di puncak gunung Merapi dan gunung Merbabu.



Gambar 4-5: Citra ortho PRISM nadir dan tampilan 3D

5 KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji ekstraksi otomatis DEM dari citra stereo optis PRISM menggunakan *software* Prism DEM, kemudian DEM tersebut dibandingkan dengan DEM referensi (SRTM band X dan C), beberapa kesimpulan yang diperoleh:

- *Software* PrismDEM dapat digunakan untuk menurunkan DEM stereo PRISM secara otomatis dengan resolusi spasial bervariasi mulai 80 m, 40 m, 20 m dan 10 m. Penurunan DEM dapat dilakukan dengan berbagai kombinasi citra yaitu: *nadir-forward*, *forward-backward* dan *nadir-backward*,
- Ketinggian DEM dari *software* DEM beracuan pada model elipsoid, sehingga memerlukan koreksi *geoid* (koreksi bentuk muka bumi). Walaupun begitu DEM PRISM mempunyai pola distribusi ketinggian yang relatif sama dengan DEM referensi, tetapi dengan tingkat kedetilan dan gradasi warna yang lebih halus,
- Analisis tingkat akurasi memperlihatkan RMSE relatif antara DEM yang dibuat dengan DEM referensi adalah sebesar 16 m. RMSE dapat dikurangi dengan memasukan pengaruh kurva bumi dan pengaturan seting parameter (*line moving* dan *window search*) dalam proses korelasi antara citra master dan citra target.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Makoto Ono dari RESTEC (*Remote Sensing Technology Center of Japan*) yang telah mengembangkan *software* PRISM DEM dan mengizinkan pemakaian *software* tersebut. Ucapan terima kasih diucapkan pula kepada JAXA dan DLR yang telah memberikan citra stereo PRISM and SRTM X-C band DEM untuk keperluan kegiatan penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- Chen T.; Shibasaki R.; Tsuno K.; dan Morita K., 2004. *Triplet Matching for DEM Generation with PRISM ALOS*, ISPRS XX, Istanbul, Turkey.
- Gesch D., 2005. *Vertical Accuracy of SRTM Data of the Accuracy of SRTM Data of the United States: Implications for Topographic Change Detection*, SRTM Data Validation and Applications Workshop.
- JAXA, 2006. *Annual Report 2005*, EORC Bulletin, No. 9, March 2006.
- JAXA, 2006. *The 2nd ALOS Research Announcement: Calibration and Validation, Utilization Research, and Scientific Research*, Earth Observation Research Center Japan Aerospace Exploration Agency, Japan.
- Lang H.; and Welch R., 1999. *ATBD-AST-08 Algorithm theoretical Basic*

Lang H.; and Welch R., 1999. *ATBD-AST-08 Algorithm theoretical Basic Document for Aster Digital Elevation Models*, Standart product AST14, pp. 1-69.

Leica Geosystems, 2002. *Imagine Orthobase User's Guide*, GIS and Mapping division Atlanta Georgia.

Trisakti B.; and Pradana F.A., 2006. *Pemanfaatan DEM data Stereo Sensor*

ASTER untuk Pengembangan Model Updating Topografi, Laporan Kegiatan 2006, Pusat Pengembangan Pemanfaatan dan Teknologi Penginderaan Jauh, LAPAN.

Yastikh, 2006. *Accuracy and Morphological Analyses of GTOPO30 and SRTM X-C band DEMS in the Test Area Istanbul*, ISPRS Workshop, Ankara.