

# SKRIPSI

## TINJAUAN MODEL PERMUKAAN DIGITAL METODE TRIANGULASI IRREGULAR NETWORK (TIN) ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN CITRA LIDAR

(Studi Kasus : Kaliberau - Kab.Musi Banyuasin - Sumatera Selatan)



Disusun Oleh:

**YUDI SAPUTRO**

**07.25.002**

**JURUSAN TEKNIK GEODESI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**

**MALANG**

**2014**

SECRET

THE UNITED STATES GOVERNMENT  
DEPARTMENT OF THE ARMY  
WASHINGTON, D. C. 20315  
FORM NO. 10 (REV. 11-15-61)

UNITED STATES GOVERNMENT  
DEPARTMENT OF THE ARMY  
WASHINGTON, D. C. 20315

UNITED STATES GOVERNMENT  
DEPARTMENT OF THE ARMY  
WASHINGTON, D. C. 20315  
FORM NO. 10  
REV. 11-15-61



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TINJAUAN MODEL PERMUKAAN DIGITAL METODE TRIANGULASI  
IRREGULAR NETWORK (TIN) ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN  
CITRA LIDAR**

(Studi Kasus : Kaliberau - Kab.Musi Banyuasin - Sumatera Selatan)

**SKRIPSI**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi

Jenjang Strata Satu (S-1)

Pada hari : Kamis

Tanggal : 21 Agustus 2014

Dan diterima untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar  
Sarjana Teknik.

**Disusun Oleh :**


**Yudi Saputro (07.25.002)**

**Panitia Ujian Tugas Akhir**

**Ketua**

  
**Ir. Agus Darpono, MT**

**Sekretaris**

  
**Silvester Sari Sai, ST., MT**

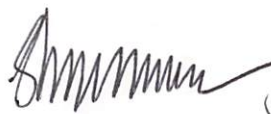
**Anggota Penguji**

**Penguji I**



**Ir. Pradono Joanes De. Deo., MSi**

**Penguji II**



**Silvester Sari Sai, ST., MT**

**Penguji III**



**D.K. Sunaryo, ST., MT**

**PERNYATAAN**

**TUJUAN MODEL PERBUKUAN DIGITAL METODE TRANSLASI  
KEBERUKAN NETWORK (TN) ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN  
CITRA LIDAR  
(Studi Kasus : Kabupaten - Kabupaten Banyuwangi - Sumatera Selatan)**

**SKRIPSI**

Dipertahankan dibabakan Majelis Pengaji Skripsi

panjang satu (2-1)

Pada hari : Kamis

Tanggal : 21 Agustus 2014


Dan diterima untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar  
Sarjana Teknik.

Disetujui Oleh :


Yudi Saputra (07.25.002)

Panitia Ujian Tugas Akhir

Sebelumnya


  
Silvester Sari ST, MT

Ketua


  
H. Agus Darsono, ST

Anggota Pengaji


Pengaji III

  
D.K. Suciyo, ST, MT

Pengaji II

  
Silvester Sari ST, MT

Pengaji I

  
Ir. Prabono Joesno Do, PhD, MSi



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yudi Saputro  
NIM : 07.25.002  
Jurusan : Program Studi Teknik Geodesi  
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul dibawah ini :

**“TINJAUAN MODEL PERMUKAAN DIGITAL METODE TRIANGULASI  
IRREGULAR NETWORK (TIN) ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN CITRA  
LIDAR”**

**(Studi Kasus : Kaliberau – Kab. Musi Banyuasin – Sumatera Selatan)**

Adalah hasil skripsi saya sendiri dan bukan menjiplak atau menduplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, 1 Desember 2014

Yang membuat pernyataan

(Materai Rp.6000,)

Yudi Saputro

NIM : 0725002

# **TINJAUAN MODEL PERMUKAAN DIGITAL METODE TRIANGULASI IRREGULAR NETWORK (TIN) ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN CITRA LIDAR**

*Yudi Saputro 07.25.002*

*Dosen Pembimbing I : Ir. Pradono Joanes De. Deo. MSi*

*Dosen Pembimbing II : Edwin Tjahjadi, ST., MGeomSc., Ph.D*

## **ABSTRAKSI**

*Kegiatan penambangan batubara tidak lepas dari peta topografi sebagai peta dasar untuk pembuatan peta lainnya yang diperlukan dalam kegiatan penambangan batubara. Seiring dengan efisiensi waktu dan biaya, survey terestris lebih lama daripada teknologi LIDAR untuk pemetaan dengan karakteristik wilayah penambangan batubara dilingkupi oleh hutan. Dalam aplikasi survei dan pemetaan sekarang ini, pemetaan LIDAR diintegrasikan dengan ortofoto untuk memperoleh informasi planimetrik DTM dan DEM.*

*Digital Elevation Model (DEM) dibangun dari struktur data perkiraan permukaan tanah dengan level detail berbeda dari hasil pengukuran terestris, fotogrammetri dan data lain yang berupa data acak dalam sistem koordinat kartesian (X,Y,Z), kemudian dibuat TIN untuk diinterpolasi berdasarkan rangkaian segitiga tersebut. Secara konsep, kontur adalah interpolasi garis ketinggian dari titik-titik tinggi tanah, kontur akan semakin mendekati kondisi sebenarnya jika titik-titik tinggi tanah yang disajikan sangat rapat dan berkualitas. Seiring berkembangnya teknologi pemetaan dengan berbagai tingkat akurasi ketelitian maka perlu dikaji ulang sejauh mana deviasi atau penyimpangan informasi elevasi hasil rekaman citra LIDAR dengan peta topografi pada suatu area yang diukur. Data - data ketinggian yang dihasilkan dari kedua metode pengukuran tersebut ditemukan adanya perbedaan nilai ketinggian yang menyebabkan perbedaan pada representasi data DEM.*

*Kata Kunci : DEM, DTM, TIN, Interpolasi*



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**TINJAUAN MODEL PERMUKAAN DIGITAL METODE TRIANGULASI  
IRREGULAR NETWORK (TIN) ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN  
CITRA LIDAR**

(Studi Kasus : Kaliberau - Kab.Musi Banyuasin - Sumatera Selatan)

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Mencapai  
Gelar Sarjana Teknik (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi S-1  
Institut Teknologi Nasional Malang

Oleh :

**Yudi Saputro (07.25.002)**

**Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Pradono Joanes De. Deo. MSi**

**Dosen Pembimbing II**

**Edwin Tjahjadi, ST., MGeomSc., Ph.D**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Geodesi S-1**

**Ir. Agus Darpono, MT**

## **Kupersembahkan Hasil Karyaku Ini Kepada :**

Allah S.W.T yang telah memberi kesempatan di segala sisi kehidupan ini, meski hamba sering kali lupa dan sebagai umatnya selayaknya sholat serta salam tetap tucurahkan kepada revolusioner besar Muhammad S.A.W. yang telah meridhoi segala usahaku dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Bapak yang aku hormati, terima kasih sudah membesarkanku dengan segala upaya dan jerih payahmu, segala maafmu kepada anakmu yang terkadang membuatku kecewa, terima kasih Bapak.

Ibu yang aku sayangi, terima kasih telah mendukungku dengan segala welas asihmu kepada anakmu yang terkadang membuatmu kecewa, membimbingku selalu dalam keadaan susah dan senang.

Kakak – kakak tercinta Kinanti Wahyuningtyas, Richard Augusto Aome, atas segala dukungan dan bantuannya.

For My Love WhaWha Strawberry yang selalu menemani, membantu dan menyemangati dengan kasih sayangmu selama ini.

Seluruh kawan-kawan seperjuangan Geo 07, Entyn G.Bei, Kayertanus Raja Pikal, Muhammad Rasul, semoga team kita mampu berjuang ditengah ramainya ranah pemetaan di Indonesia, kawan-kawan Teknik Sipil ITN Risky Dias Kurnia, Fajar Dimas Dewantara, dan seluruh kawan-kawan Punk/HC Wlingi yang telah membantu menyemangati ditengah kelelahanku.

“Tetap berpikir positif dan waras menjalani semua tanpa harus dipaksakan menjadi pemenang, yang kubutuhkan ijin-Mu agar kakiku melangkah ringan dan bila nanti sampai di tujuan, tenagaku pasti dihargai”



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadiran Allah S.W.T yang telah memberi kesempatan di sesegala sisi kehidupan ini, meski hamba sering kali lupa. Dan sebagai umatnya selayaknya sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada revolusioner besar Muhammad S.A.W.

Penulisan hasil penelitian ini disajikan untuk melakukan “TINJAUAN MODEL PERMUKAAN DIGITAL METODE TRIANGULASI IRREGULAR NETWORK (TIN) ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN CITRA LIDAR”.

Dalam penelitian sampai pada saat penulisan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari teman-teman dan para dosen, sebagai manusia yang selalu ingin belajar membalas budi penulis banyak mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. Agus Darpono, MT selaku ketua Jurusan Teknik Geodesi
2. Bapak Ir. Pradono Joanes De. Deo. MSi selaku dosen Pembimbing I
3. Bapak Edwin Tjahjadi, ST., MGeomSc., Ph.D selaku dosen Pembimbing II
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Geodesi S1 yang telah memberi bekal ilmu pengetahuan untuk kehidupan yang akan datang
5. Teman-teman GEO'07 yang selalu membantuku, tak ada yang bisa aku katakan selain TERIMA KASIH

Penulis menyadari didalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk mahasiswa Geodesi pada khususnya dan seluruh mahasiswa ITN Malang pada umumnya.

Malang, Agustus 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

Judul.....	i
Lembar Persetujuan .....	ii
Lembar Pengesahan .....	iii
Abstraksi .....	iv
Surat Keaslian Pernyataan Skripsi .....	v
Lembar Persembahan.....	vi
Kata Pengantar .....	vii
Daftar Isi .....	viii
Daftar Gambar .....	x
Daftar Tabel .....	xi

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tinjauan Pustaka.....	3

### BAB II DASAR TEORI

2.1 Model Elevasi Digital (DEM).....	6
2.2 Model Permukaan Digital (DTM) .....	7
2.3 Pembuatan Model Elevasi Digital (DEM) .....	9
2.4 Kontur (Isoline).....	10
2.5 Interpolasi .....	11
2.6 Triangulasi Irregular Network (TIN).....	12
2.7 LIDAR .....	14
2.7.1 Prinsip Kerja LIDAR.....	15
2.7.2 Pengukuran LIDAR .....	15

2.7.3 Hasil Pengamatan LIDAR .....	17
2.7.4 Sumber Kesalahan LIDAR .....	18
2.7.5 Ketelitian Ketinggian (Elevasi) Hasil Penyiaman LIDAR ...	20
<b>BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN</b>	
3.1 Persiapan .....	23
3.2 Alat Penelitian.....	23
3.3 Diagram Alir Rencana Penelitian .....	23
3.4 Pengolahan Data .....	27
3.4.1 Seleksi Pemilihan Titik Tinggi .....	28
3.4.2 Pembuatan Digital Terrain Model (DTM).....	30
3.4.3 Proses Triangulasi Irregular Network.....	32
3.4.4 Overlay (Tumpang Susun).....	37
3.4.5 Analisa Perbandingan Ketinggian Titik-Titik Tinggi .....	40
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Dan Data LIDAR .....	42
4.1.1 Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Dan Data LIDAR Terhadap DEM.....	43
4.1.2 Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR.....	44
4.2 Tinjauan Hasil Penelitian.....	45
4.2.1 Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Dan Data LIDAR Terhadap DEM.....	46
4.2.2 Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR.....	46
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	50

Daftar Pustaka

Lampiran

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1. Perbedaan DSM dan DTM .....	6
Gambar II.2. DTM Grid.....	7
Gambar II.3. DTM TIN .....	8
Gambar II.4. DTM Kontur.....	8
Gambar II.5. Rumus Interval Kontur .....	11
Gambar II.6. Interpolasi Bilinear .....	12
Gambar II.7. Interpolasi Linear .....	12
Gambar II.8. Menghitung Kontur .....	14
Gambar II.9. Skema Komponen Airborne LIDAR.....	17
Gambar II.10. RMSE .....	22
Gambar II.11. Syarat Ketelitian LIDAR (ASPRS, 2004).....	22
Gambar III.1. Diagram Alir Rencana Penelitian. ....	24
Gambar III.2. Penyebaran Titik-Titik Tinggi Citra LIDAR dan Titik-Titik Tinggi Hasil Pengukuran Topografi.....	29
Gambar III.3. Seleksi Titik-Titik Tinggi dari Titik-Titik Tinggi Citra LIDAR dan Titik-Titik Tinggi Hasil Pengukuran Topografi. ....	31
Gambar III.4. Triangulasi Irregular Network (TIN) .....	35
Gambar III.5. Digital Elevasi Model (DEM).....	35
Gambar III.6. Interpolasi Shape Raster DEM.....	36
Gambar III.7. DEM dengan Titik-Titik Tinggi Hasil Interpolasi Shape.....	36
Gambar III.8. Garis Kontur.....	37
Gambar III.9. Interpolasi Shape dengan Metode Interpolasi Linear (TIN).....	39
Gambar III.10. Perbandingan Ketinggian dengan identify query visible layer. ....	39
Gambar III.11. File Ekstensi DBF dari Shapefile.....	41
Gambar III.12. 3D View TIN dan DEM Topografi.....	41

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Dan Data LIDAR Terhadap DEM.....	43
Tabel 4.2. Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR Terhadap DEM.....	44
Tabel 4.3. Penyimpangan Ketinggian Pada Posisi Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR .....	45

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

Pembuatan peta topografi menggunakan teknik konvensional seperti pengukuran terestris dan fotogrametris memerlukan waktu yang lama dan biaya yang relatif sangat besar. Proses pengumpulan data topografi pada beberapa dekade ini berpindah paradigmanya dari survei langsung terestris (*field surveying*) ke penginderaan jauh secara pasif (fotogrametri dan penginderaan jauh) sedangkan pada beberapa tahun terakhir ini menggunakan penginderaan jauh secara aktif (LIDAR dan InSAR). Teknologi LIDAR (*Light Detection And Ranging*) diyakini sebagai penyedia data DEM paling teliti setelah survei terestris.

Salah satu teknik pengumpulan dan pengolahan data secara digital untuk keperluan survei dan pemetaan adalah *Digital Elevation Model (DEM)* yang dibangun dari struktur data perkiraan permukaan tanah dengan level detail berbeda. Data diperoleh dari hasil pengukuran terestris, fotogrametri dan data lain yang berupa data acak dalam sistem koordinat kartesian (X,Y,Z), kemudian dibuat rangkaian segitiga yang tidak teratur pada data acak (TIN) untuk diinterpolasi berdasarkan rangkaian segitiga tersebut. *Triangulated Irregular Network (TIN)* adalah model data topologi berbasis vektor yang digunakan untuk mempresentasikan rupa bumi (*terrain*) yang diperoleh dari sebaran titik-titik sample yang tidak teratur dan *break line*, serta membentuk jaringan segitiga tidak beraturan yang saling berhubungan. Masing-masing segitiga terdiri dari tiga

*vertex* yang mempunyai koordinat  $x$ ,  $y$  dan elevasi ( $z$ ) atau satu set koordinat disebut *Mass Point*. Untuk mendapatkan *Digital Elevation Model (DEM)* harus dikonversi ke format raster.

Pengukuran terestris adalah pengumpulan data serta informasi geografis diatas permukaan bumi dengan cara melakukan survei untuk mendapatkan titik-titik tinggi permukaan tanah secara 3 dimensi ( $x$ ,  $y$  dan  $z$ ) di mana hasilnya nanti dibentuk kontur dan peta topografi. Sehingga terestris merupakan salah satu metode pengukuran yang cukup akurat, akan tetapi metode ini mempunyai beberapa kekurangan antara lain: biaya yang besar, waktu yang relatif lama dan cakupan wilayah yang kecil.

Penggunaan *airborne* LIDAR adalah teknologi baru dalam dunia survei dan pemetaan dengan menembakkan sinar laser dengan memanfaatkan emisi gelombang cahaya untuk memperoleh posisi geometri tiap titik laser. Titik – titik yang diperoleh dari *scanning* LIDAR merupakan titik – titik yang sudah memiliki koordinat tiga dimensi yang berasal dari *multy return* sinyal LIDAR pada suatu obyek yang kemudian dapat dimodelkan secara tiga dimensi dan titik – titik tersebut disebut *points cloud*. Rentang atau jarak antara *scanner* ke target dan informasi posisi dan orientasi yang diperoleh dari *Global Positioning Sistem (GPS)* dan *Inertial Measurment Unit (IMU)* dapat menentukan lokasi target dengan akurasi tinggi dalam ruang tiga dimensi.

Seiring berkembangnya teknologi pemetaan dengan berbagai tingkat akurasi ketelitian maka perlu dikaji ulang sejauh mana deviasi atau penyimpangan informasi elevasi hasil rekaman citra LIDAR dengan peta topografi pada suatu area yang diukur.

## **I.2. Rumusan Masalah**

Pada metode terestris pengukuran ketinggian titik-titik tinggi permukaan tanah langsung dilakukan di permukaan bumi dengan peralatan survei topografi. Metode LIDAR menggunakan teknologi baru sinar laser yang dibawa pada pesawat udara untuk melakukan pengukuran jarak. Data - data ketinggian yang dihasilkan dari kedua metode pengukuran tersebut ditemukan adanya perbedaan nilai ketinggian yang menyebabkan perbedaan pada representasi data DEM.

## **I.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah uji statistik model permukaan digital menggunakan metode TIN dan perbedaan elevasinya antara metode LIDAR dan metode terestris.

## **I.4. Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini akan ditinjau sejauh mana penyimpangan nilai tinggi permukaan tanah antara titik-titik tinggi hasil rekaman citra LIDAR dan titik-titik tinggi hasil pengukuran terestris dengan menggunakan metode jaringan triangulasi tidak beraturan (TIN) pada permukaan tanah datar dan terbuka di areal PT. Nusa Indah Permai – Sumatera Selatan.

## **I.5. Tinjauan Pustaka**

Model permukaan bumi digital (DTM) dibangun dengan model *Triangular Irregular Network* (TIN), sehingga untuk mendapatkan nilai ketinggian pada



setiap lokasi cek poin dilakukan dengan metode interpolasi *linear*. Interpolasi *linear* menganggap laju perubahan nilai-nilai yang diketahui adalah konstan dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus kemiringan sederhana. Dalam kepentingan rekonstruksi spasial 3D, interpolasi *linear* digunakan untuk membentuk *mesh TIN* yang berbentuk segitiga yang ditentukan oleh minimal 3 titik (x,y,z). Prinsip inilah yang digunakan dalam untuk menginterpolasi nilai raster ke vektor. (*Verifikasi Data Airborne Lidar Berdasarkan Variabilitas Tutupan Lahan & Kelerengan Untuk Mendukung Efektivitas Kegiatan Pertambangan, Ardhi Putra dkk, 2012*)

*Digital Terrain Model (DTM)* merupakan suatu model pendekatan matematis dari data posisi planimetris dan vertikal untuk menyajikan keadaan permukaan bumi. Sumber data untuk pembuatan *DTM* meliputi data titik tinggi dan/atau garis kontur yang dapat diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan, konversi dari peta topografi, teknik fotogrametri, INSAR dan LIDAR. *DTM* dibuat dengan menggunakan metode interpolasi tertentu. Peta topografi tersedia dalam skala 1:5000 yang dibuat dengan metode fotogrametri. Peta memiliki kerapatan kontur 2 meter dan ribuan titik tinggi yang tersebar di daerah studi dengan elevasi dan kelerengan yang bervariasi. Kontur dan titik tinggi digunakan untuk membuat *DTM* dengan tiga metode yang berbeda. Hasil akhir *DTM* disajikan dalam format raster untuk memudahkan proses evaluasi. Penggunaan metode *TIN* menghasilkan *DTM* dengan RMSE 1,54 meter, metode *IDW* menghasilkan RMSE 1,79 meter, dan 1,78 meter pada metode *Spline*. (*Perbandingan Beberapa Metode Interpolasi untuk Pembentukan Digital Terrain*

*Model dari Peta Topografi skala besar, Bambang Kun Cahyono, Heri Sutanta, 2012)*

Aplikasi untuk dapat memodelkan sungai khususnya untuk penanganan banjir memerlukan data profil dari sungai yang sangat teliti. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis ketelitian terhadap profil sungai yang dihasilkan dari pengukuran LiDAR. Untuk memperoleh ketelitian elevasi dari data LiDAR dilakukan perbandingan antara data hasil ekstraksi LiDAR dengan data profil sungai hasil pengukuran menggunakan *Total Station* (TS). Daerah yang dipilih sebagai lokasi penelitian ini adalah Sungai Code yang diukur dari utara (Ring Road Utara) sampai selatan (Jembatan Amarto) dengan kriteria sample data yang diambil adalah tebing natural, tebing ditalud, daerah terbuka, daerah pemukiman, dan daerah tertutup pohon. Hasil dari penelitian ini berupa data *cross section* dari pengukuran di lapangan menggunakan *Total Station* (TS) dan *cross section* dari *point clouds* dan DEM hasil ekstraksi data LiDAR. Dari hasil perbandingan titik uji menunjukkan bahwa data hasil pengukuran lapangan menggunakan sama baiknya dengan *point clouds* dan DEM hasil ekstraksi data LiDAR. Diperoleh nilai *Total Station* (TS) RMSE dari data *point clouds* sebesar 1,338m dan nilai selisih rata – rata elevasi sebesar 0,380m, sedangkan untuk DEM diperoleh. *(Evaluasi Ketelitian Profil Sungai Hasil Ekstraksi Data LIDAR, Berlin Janricko, 2014)*

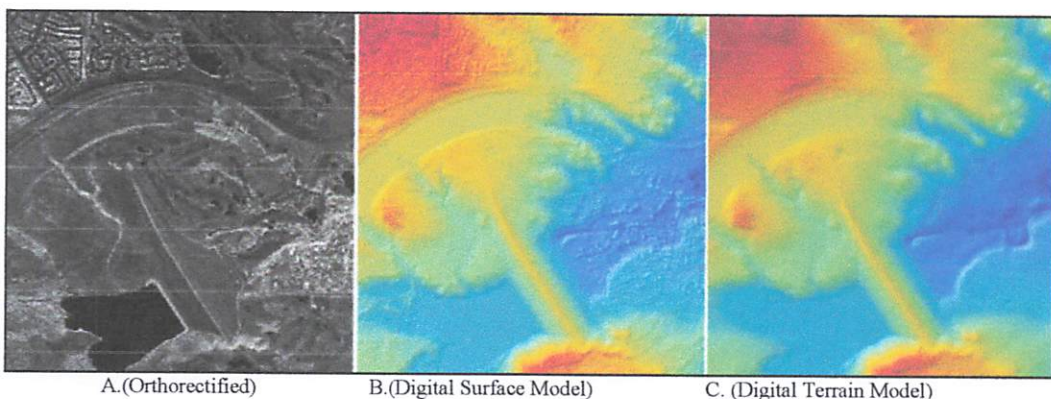
## BAB II

### DASAR TEORI

#### II.1. Model Elevasi Digital (DEM)

Digital Elevasi Model (DEM) merupakan model permukaan bumi yang terbentuk dari titik-titik yang memiliki nilai koordinat 3D (X, Y, Z). Titik – titik tersebut dapat berupa titik *sample* permukaan bumi atau titik hasil interpolasi atau ekstrapolasi titik – titik *sample* (Kartika, 2010). DEM merupakan model permukaan digital yang mempunyai referensi terhadap ellipsoid. Unsur pembentukan DEM adalah berupa kontur atau titik tinggi yang dikonversikan kedalam format digital dan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) tertentu, maka dibuat model 3D dari permukaan bumi. Informasi pada DEM adalah (elevasi) diatas tingkat tertentu, khususnya laut, cakrawala, permukaan bumi sehingga dapat diturunkan menjadi :

- a) DSM (*Digital Surface Model*), elevasi permukaan pertama antara kontak RADAR dengan obyek permukaan bumi.



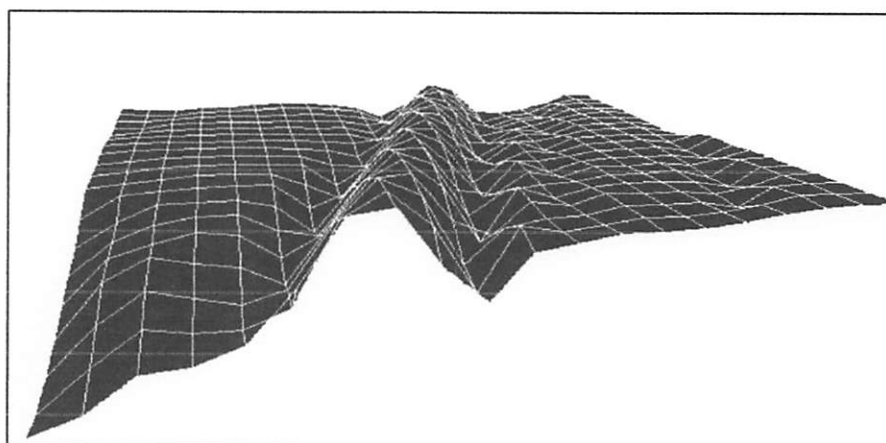
Gambar II.1. Perbedaan DSM dan DTM (Sumber : Taufik Hery Purwanto, S.Si., M.Si)

- b) DTM (*Digital Terrain Model*), elevasi turunan dari DSM yang menyangkut mencakup unsur – unsur dengan elevasi yang signifikan dari fitur topografi yakni unsur linier berupa *breakline*, *mass point*, dan *hidrologic condition* sehingga DTM mampu memodelkan relief secara lebih realistik atau sesuai dengan kenyataan (ASPRS, 2007).

## II.2. Model Permukaan Digital (DTM)

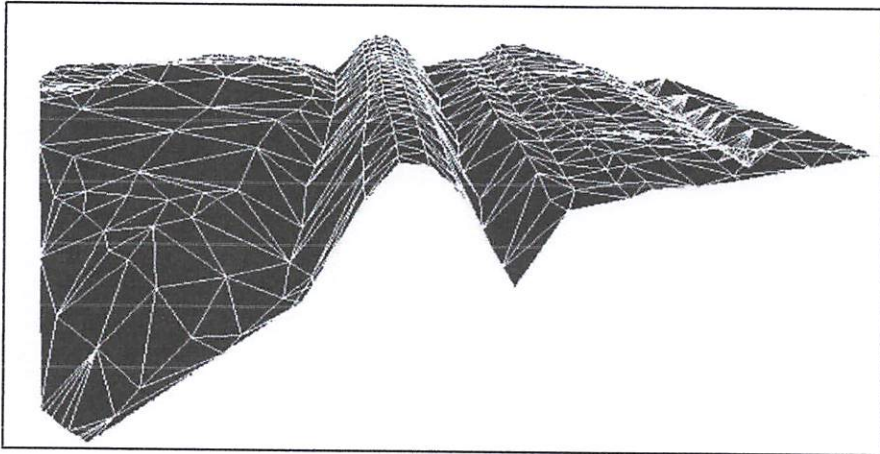
*Digital Terrain Model (DTM)* adalah representasi statistik permukaan tanah yang kontinyu dari titik-titik yang diketahui koordinat (x, y, z) pada suatu sistem koordinat tertentu (Petrie dan Kennie, 1991). Ketiga jenis DTM dibawah ini masing-masing dibedakan berdasarkan sebaran titik-titik DTM-nya.

- a) DTM Grid disimpan sebagai citra raster, yang berisi matrik dari sel/piksel dimana tiap pikselnya mempunyai informasi elevasi yang tersebar secara merata pada seluruh permukaan model dan teratur dalam interval tertentu. Titik DTM dapat berupa titik sampel maupun titik hasil interpolasi titik sampel. Permukaan model terbentuk oleh grid yang menghubungkan titik DTM.



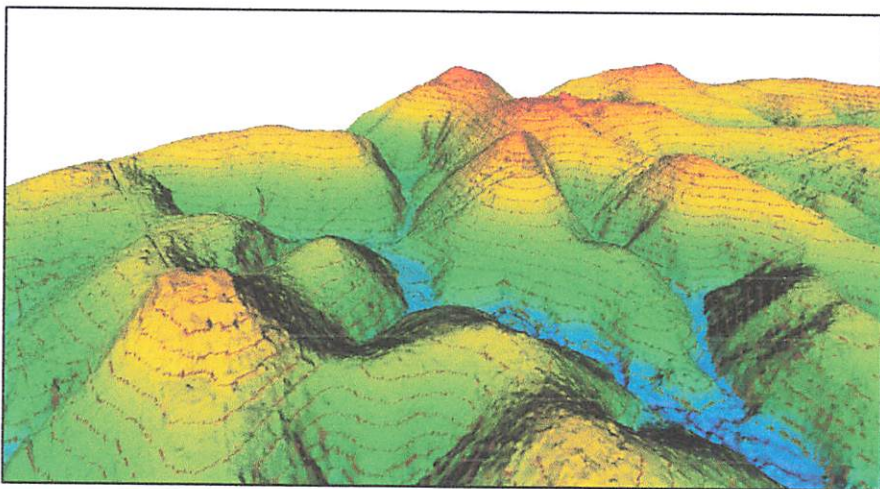
Gambar II.2. DTM Grid (Sumber :<http://proceedings.esri.com/>)

- b) DTM TIN menggunakan titik-titik yang tersebar secara tidak teratur pada permukaan model yang disusun oleh set segitiga (*Mass Point*), lebih baik bila ditempatkan pada perubahan permukaan medan seperti di lembah paling dalam, puncak gunung atau bagian ujung atas dan bawah tebing.



Gambar II.3. DTM TIN (Sumber: <http://proceedings.esri.com/>)

- c) DTM Kontur menyajikan topografi permukaan bumi dalam bentuk garis-garis kontur yang menghubungkan titik-titik dengan nilai ketinggian yang sama. DTM kontur didapat dari *tracing/plotting* model stereo citra ataupun dari hasil interpolasi DTM Grid atau TIN.



Gambar II.4. DTM Kontur (Sumber : <http://LIDARnusantara.wordpress.com>)

### **II.3.Pembuatan Model Elevasi Digital (DEM)**

Merupakan proses matematis terhadap data ketinggian yang diperoleh dari hasil pengukuran atau pembacaan peta. Proses pembuatan DEM terkait dengan :

- a) Data Masukan, merupakan data yang dijadikan dasar perhitungan model permukaan digital. Data yang dapat dijadikan masukan adalah :
  1. Titik Ketinggian : titik ketinggian 3D terdapat nilai Z/H yang menunjukkan ketinggian titik tersebut. Data diperoleh dari pengukuran di lapangan dan digitasi peta digital (raster digitasi).
  2. Kontur : memiliki interval yang dapat diprediksi variasinya jika tidak tercantum nominalnya, dan dapat diperoleh dari peta digital vektor atau raster hasil digitasi.
  3. Breaklines : Menandakan adanya perubahan ketinggian yang ekstrim, misalnya tebing. Terkait dengan data titik terdapat pada area dengan jumlah titik yang relatif rapat. Terkait dengan data kontur, seakan-akan beberapa garis kontur bergabung menjadi satu.
- b) Kalkulasi, menghitung luasan 3 dimensi dari dari titik-titik tinggi yang ada.
  1. Penentuan area data yang akan digunakan dalam perhitungan tinggi permukaan : proses penghitungan cakupan model permukaan berdasarkan sebaran data tinggi yang dijadikan input dan menentukan luas unit satuan bidang permukaan tinggi.
  2. Interpolasi data ketinggian : mengestimasi posisi yang tidak diketahui tingginya, proses ini diperlukan jika unit satuan tinggi tidak tepat pada data tinggi yang ada.

3. Pembuatan unit bidang permukaan : merupakan proses penentuan variasi tinggi berdasarkan data tinggi yang ada. TIN segitiga dengan node, Grid resolusi dengan piksel ketinggian, Profil dengan unit bidang profil.
- c) Evaluasi terhadap model yang dihasilkan, *software* melakukan proses-proses tertentu dalam kalkulasi ketinggian. Proses lain ada yang tetap perlu dilakukan secara *manual editing* di AutoCad. Pada ArcGIS, digunakan ekstensi *3d analyst* untuk mengolah data menjadi model permukaan dan untuk keperluan analisis.

#### **II.4. Kontur (Isoline)**

Garis kontur adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan ketinggian yang sama di permukaan bumi. Garis kontur merupakan cara yang paling banyak dilakukan untuk menggambarkan permukaan dan ketinggian pada peta dengan cara interpolasi titik-titik hasil pengukuran di lapangan. Cara penarikan kontur dilakukan dengan cara perkiraan (interpolasi) antara besarnya nilai titik-titik ketinggian dengan besarnya nilai kontur yang ditarik. Artinya antara dua titik ketinggian dapat dilewati beberapa kontur, tetapi dapat juga tidak ada kontur yang melewati dua titik ketinggian atau lebih, disebabkan yaitu :

1. Semakin besar perbedaan angka ketinggian antara dua buah titik ketinggian, maka semakin banyak dan rapat kontur yang melalui kedua titik tersebut, yang berarti daerah tersebut lerengnya terjal.
2. Sebaliknya semakin kecil perbedaan angka ketinggian antara dua buah titik ketinggian maka semakin sedikit dan jarang kontur yang ada, berarti daerah tersebut lerengnya landai atau datar.

Interval kontur adalah jarak antara dua garis kontur yang berdekatan. Indeks kontur adalah garis kontur yang penyajiannya ditonjolkan setiap kelipatan interval kontur tertentu. Penyajian interval garis kontur tergantung pada skala peta yang disajikan, jika datar interval garis kontur adalah  $1/1000 \times$  skala peta, jika berbukit interval garis kontur adalah  $1/500 \times$  skala peta dan jika bergunung interval garis kontur adalah  $1/200 \times$  skala peta. Penyajian indeks garis kontur daerah datar adalah setiap selisih 3 garis kontur, daerah berbukit setiap selisih 4 garis kontur dan daerah bergunung setiap selisih 5 garis kontur. Rumus umum yang sering digunakan untuk interval kontur adalah :

<p><b><i>Rumus Interval Kontur (Ci) = 1/2000 x Skala Peta</i></b></p> <p><b><i>Rumus Skala Peta = 2000 x Interval Kontur (Ci)</i></b></p>
---

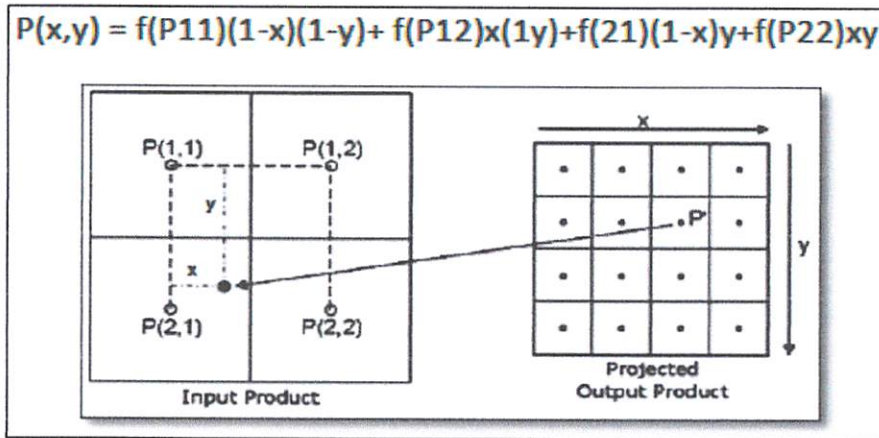
Gambar II.5. Rumus Inteval Kontur (Sumber : DR.IR. I Wayan Warmada, Diktat Geo Komputasi)

## **II.5. Interpolasi**

Proses interpolasi memprediksikan nilai karakteristik, elevasi, bentuk permukaan dengan sebaran titik tinggi disekitarnya, sehingga data yang dihasilkan lebih baik dari data sebaran titik yang tidak merata dengan formula matematik (Waters, 2007). Metode yang digunakan adalah :

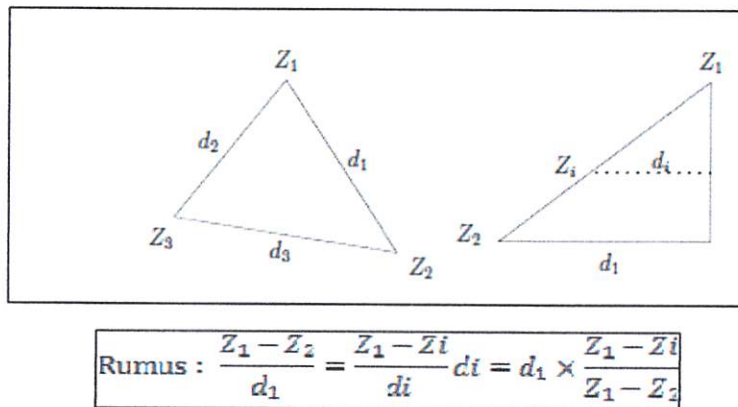
- a) *Interpolasi Bilinear*, yaitu mengestimasi nilai berdasarkan bobot yang dihitung dari 4 titik yang disekelilingnya dengan fungsi linear arah x dan y (Atmadilaga, 2010). Rumus yang digunakan adalah :





Gambar II.6. Interpolasi Bilinear (Sumber :Jurnal Geospasial 2012)

- b) *Interpolasi Linear*, untuk mendapatkan nilai ketinggian pada setiap lokasi cek poin dari metode TIN. Interpolasi linear menganggap laju perubahan nilai-nilai yang diketahui adalah konstan (kontinyu dan tidak berubah) dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus kemiringan sederhana.



Gambar II.7. Interpolasi Linear (Sumber : DR.IR. I Wayan Warmada, Diktat Geo Komputasi)

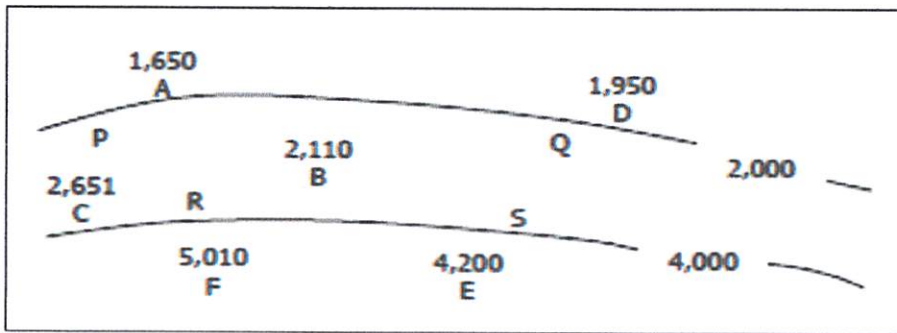
## II.6. Triangulated Irregular Network (TIN)

Secara umum teknik pengkonturan dapat dilakukan dengan metode triangulasi (*TIN*) dan metode diskret (*Gridding*). *Triangulated Irregular Network* (TIN) adalah model data topologi berbasis vektor untuk mempresentasikan bentuk

permukaan bumi yang diperoleh dari titik-titik tinggi yang tersebar secara tidak teratur dan feature *breakline*, serta membentuk jaringan segitiga tidak beraturan yang saling berhubungan. Masing-masing segitiga terdiri dari tiga vertex yang mempunyai koordinat  $x$ ,  $y$  dan elevasi ( $z$ ) atau satu set koordinat disebut *Mass Point*. TIN akan menghasilkan informasi yang padat pada daerah yang beragam variasi ketinggian (kompleks), dan informasi yang jarang pada ketinggian daerah relatif sama (homogen). Untuk mendapatkan DEM harus dikonversi ke format raster. Dengan menggunakan langsung titik-titik data, maka kelebihan dan kelemahan TIN metode triangulasi adalah sebagai berikut:

- a) Kontur dapat dihitung secara langsung dari segitiga, informasi sekitar segitiga dapat digunakan untuk efisiensi proses interpolasi.
- b) Lebih dinamik, diedit dengan cara menambahkan titik-titik data pada tempat yang diinginkan.
- c) Kemampuan untuk menggambarkan permukaan pada berbagai tingkat resolusi pixel dan ketinggian.
- d) Kelemahannya adalah apabila kerapatan data antara tempat yang satu dengan tempat yang lain tidak seragam akan menghasilkan kontur yang tidak representatif.

Contoh perhitungan dibawah ini adalah membuat kontur dengan interval 2 meter dari tinggi titik A (1,650 m), titik B ( 2,110 m) , titik C (2,651 m), titik D (1,950 m), titik E (4,200 m) dan titik F (5,010 m) maka tinggi dan jarak P dan R dari interpolasi linier, untuk titik Q, dan S dapat dihitung dengan cara yang sama dengan menggunakan konsep segitiga.



Proses Perhitungan Kontur dengan Interpolasi Linear

$$h_P = h_A + \frac{d_{AP}}{d_{AC}} \times (h_C - h_A) \quad h_R = h_C + \frac{d_{FR}}{d_{FC}} \times (h_F - h_C)$$

$$d_{AP} = \frac{h_P - h_A}{h_C - h_A} \times d_{AC} \quad d_{FR} = \frac{h_R - h_F}{h_F - h_C} \times d_{AC}$$

$$d_{AP} = \frac{2 - 1.650}{2.651 - 1.650} \times 5 = 1.748 \quad d_{FR} = \frac{4 - 5.010}{5.010 - 2.561} \times 5 = 1.745$$

Maka :  $h_P = 1.650 + \frac{1.748}{5} \times (2.651 - 1.650) = 2$

$h_R = 2.651 + \frac{1.745}{5} \times (5.010 - 2.651) = 3.474$

Gambar II.8. Menghitung Kontur (Sumber : Ir. Yuwono M.S, Diklat Teknis 2012)

## II.7. LIDAR

LIDAR (*Light Detection And Ranging*) adalah teknologi yang menerapkan sistem penginderaan jauh sensor aktif untuk menentukan jarak dengan menembakkan sinar laser yang dipasang pada wahana pesawat udara survei kecil atau helikopter. LIDAR terbagi atas dua, yaitu *Airborne Altimetric* LIDAR untuk pengukuran topografi permukaan tanah menggunakan sinar inframerah, dan *Airborne Laser Bathymetry* untuk mengukur kedalaman perairan dangkal menggunakan sinar hijau atau biru.

### II.7.1. Prinsip Kerja LIDAR

Prinsip kerja LIDAR yaitu memancarkan laser yang berasal dari *transmitter* pada pesawat ke obyek atau permukaan bumi, yang kemudian dipantulkan kembali setelah membentur obyek atau permukaan bumi. Pantulan tersebut memiliki beda waktu dan direkam oleh *receiver* sebagai data jarak. Pengukuran jarak dapat dijelaskan dengan prinsip beda waktu. Jika waktu ( $tL$ ) diukur maka jarak antara sensor dengan obyek dapat diukur dengan persamaan berikut ini (Wehr, 1999).

$$R = c/2 \cdot tL \dots\dots\dots (I.1)$$

Keterangan :

R = jarak antara sensor dengan titik target yang diukur (m)

c = konstanta kecepatan cahaya (3.108 m/s)

$tL$  = *Travelling Time* (ns)

Karena jarak yang harus dilewati laser sebanyak 2 kali, yaitu jarak sensor menuju target dan dikembalikan lagi ke sensor sehingga jarak sensor ke titik target harus dibagi dua.

### II.7.2. Pengukuran LIDAR

LIDAR merupakan teknologi baru dalam dunia survei dan pemetaan dengan menembakkan sinar laser dengan memanfaatkan emisi gelombang cahaya untuk memperoleh posisi geometri tiap titik laser. Pada wahana yang dipilih (pesawat terbang) dipasang Laser Scanner, GPS, dan INS/IMU. Berdasarkan skala produk yang diinginkan dan luas cakupan, maka dapat ditentukan jalur terbang untuk pemotretan/ penyiaran (*scanning*). Apabila posisi kordinat dan elevasi dari

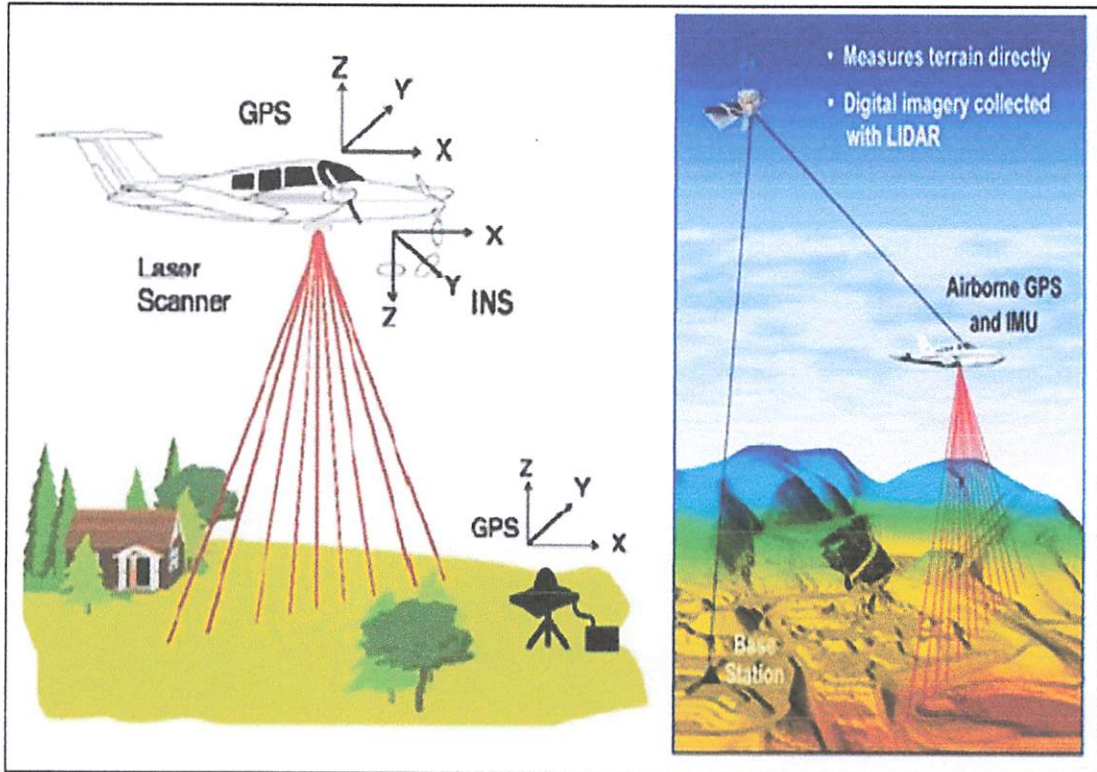
sensor laser diketahui dengan teknologi GPS/INS, maka setiap obyek yang memantulkan sinar laser tersebut bisa diketahui posisinya dan elevasinya terhadap bidang referensi yang digunakan. Sehingga setiap posisi koordinat dan elevasi tersebut bisa digunakan untuk pemetaan, khususnya pemetaan topografi yaitu memanfaatkan elevasi permukaan tanah yang memantulkan sinar laser sewaktu dilakukan *scanning*. Titik – titik yang diperoleh dari *scanning* LIDAR merupakan titik – titik yang sudah memiliki koordinat tiga dimensi yang berasal dari *multy return* sinyal LIDAR pada suatu obyek yang kemudian dapat dimodelkan secara tiga dimensi dan titik – titik tersebut disebut *points cloud*.

LIDAR dapat menyajikan keakurasian dan kerapatan yang sangat bervariasi, akurasi vertikal dalam *range* 15-24 cm dan horisontal 30-64 cm, dan kerapatan 1-9 titik/m<sup>2</sup>. Proses pengolahan data LIDAR dilakukan secara *post processing* yakni dari ketiga data yang dihasilkan oleh GPS, IMU, dan Sensor Laser Scanner sehingga menghasilkan *point clouds* dalam bentuk X,Y,Z. Kerapatan dan ketelitian pada dasarnya dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu ketinggian terbang, kecepatan terbang, sudut pemindaian (*scan angle*), frekuensi gelombang yang dipancarkan, pola *scanning*, kekuatan pulsa laser, geometri tanah dan reflektifitas dari objek yang dipantulkan. Data awal setelah pengukuran LIDAR yang didapatkan berupa :

- a) Koordinat titik kontrol (BM) pengukuran dilapangan menggunakan GPS Geodetik ( Adjustment report) dan hasil GPS kinematik pesawat.
- b) RAW data LIDAR dalam format asli sistem LAS file.
- c) Citra Orthophoto proyeksi orthogonal (efek kemiringan dan pergeseran relief sudah dikoreksi) dengan 7 parameter ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $k$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , skala) dari foto udara

pankromatik berwarna medium format metrik dalam format digital. Dimana untuk melengkapi hasil plotting LIDAR yang monokromatik dan koordinat planimetrik dengan 7 parameter ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $k$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , jarak).

d) Peta jalur terbang.



Gambar II.9. Skema Komponen Airborne LIDAR (www.sbgmaps.com)

### II.7.3. Hasil Pengamatan LIDAR

Data hasil pengukuran LIDAR yang berupa *point clouds* harus dikonversikan ke bentuk raster agar dapat dilakukan ekstrasi informasi berdasarkan area studinya. Informasi 3D dari area studi dikonversi menjadi 2D dengan nilai kecerahan pada setiap piksel raster sebagai informasi nilai ketinggian. Kemudian *point clouds* diolah melalui metode rasterisasi yang digunakan untuk melakukan ekstrasi informasi sehingga dapat menghasilkan :

- a) Pembuatan *Digital Surface Model* (DSM) yang merupakan hasil dari *first pulse reflection* (pantulan pulsa laser yang pertama). Pantulan *point clouds* dari kanopi pohon yang digunakan untuk DSM tersebut di-generate dari titik-titik yang tertinggi dari permukaan tanah dalam kanopi pohon tersebut.
- b) Pembuatan *Digital Terrain Model* (DTM) hasil dari *last pulse reflection* (pantulan pulsa laser yang terakhir) dengan akurasi yang tinggi. DTM akan diperoleh dari *ground points* yang merupakan hasil pantulan yang berasal dari permukaan tanah.
- c) Reduksi *Canopy Height Model* (CHM), mendefinisikan tinggi pohon sebagai jarak antara puncak batang pohon yang berbatang tunggal (seperti pinus dan palem) terhadap titik proyeksinya di permukaan tanah. CHM adalah model 3D tinggi kanopi pohon yang diekstrak dari hasil pengurangan raster ketinggian DSM dan ketinggian DTM.

#### **II.7.4. Sumber Kesalahan LIDAR**

LIDAR merupakan teknologi yang modern dan canggih, namun bukan berarti alat tersebut tidak memiliki kesalahan. Kesalahan tersebut ada pada masing-masing komponen yang saling terhubung. Adapun kesalahan LIDAR akan disebutkan dibawah ini :

- a) Kesalahan acak (*random errors*), menyebabkan ketidaktepatan koordinat yang diperoleh yang dipengaruhi oleh kesalahan komponen LIDAR. Menurut Habib (2008), terdapat beberapa efek *noise* (*position noise*,

*orientation noise*, dan *range noise*) pada sistem pengukuran LIDAR dalam menghasilkan *point clouds*.

- *Position noise*, pengaruh dari *noise* ini adalah independen terhadap tinggi terbang dan metode penyiaman.
- *Orientation noise*. *Noise* ini akan lebih mempengaruhi koordinat horisontal daripada koordinat vertikal. Pengaruhnya dependen terhadap tinggi terbang dan sudut penyiaman.
- *Range Noise*, akan lebih mempengaruhi komponen vertikal. Pengaruhnya independen terhadap tinggi terbang, tetapi dependen terhadap sudut penyiaman.

b) Kesalahan sistematik, dapat dipengaruhi kesalahan bias dalam sistem pengukuran LIDAR dan kalibrasi untuk menentukan *point clouds*. Dalam BMGS (2006) dijelaskan bahwa pengaruh dari kesalahan sistematik dalam pengukuran sistem dan parameter kalibrasi dalam menghasilkan *point clouds* sebagai berikut.

- *Bore sighting offset error* (spatial offset antara sinar laser yang ditembakkan ke titik dan unit GPS/INS) akan mengakibatkan pergeseran secara konstan.
- Sudut bias (IMU atau *mirror angles*) akan mempengaruhi koordinat horisontal lebih kuat daripada koordinat vertikal.
- *Range bias* terutama akan mempengaruhi ketinggian daripada koordinat horisontal.



## II.7.5. Ketelitian Elevasi Hasil Penyiaman LIDAR

Ketelitian elevasi ditentukan dari beberapa faktor, diantaranya yaitu kecepatan pesawat, sudut sapuan, dan jarak sensor ke obyek. Ketelitian dapat dikualifikasikan dengan uji ketelitian horisontal dan vertikal.

- a) Ketelitian vertikal ditentukan dengan (*ground test point*), membandingkan koordinat Z dari data LIDAR dengan data elevasi permukaan bumi yang umumnya memiliki permukaan datar dan terbuka dengan titik terdistribusi acak. Pada penelitian ini, ketelitian diperoleh dengan membandingkan data pengukuran LIDAR dengan data *Total Station* atau *RTK (GPS)* yang disurvei secara independen dan dianggap memiliki ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan data LIDAR dan dibandingkan secara statistik dengan koordinat berdasarkan uji data pengukuran.
- b) Ketelitian horisontal dikuantifikasikan dengan *flight* khusus di atas areal dengan berbagai bangunan yang mempunyai sudut-sudut tertentu dan geometri yang jelas seperti gudang, hangar atau pabrik. Sehingga lokasi titik ujung geometri dari *point clouds (x,y)* akan dibandingkan dengan hasil pengukuran terestris dengan software khusus seperti *LMS (LIDAR Mapping Suite)* atau *Attune*.

Ketelitian hasil penyiaman LIDAR ditentukan berdasarkan:

- a) Titik Uji, diusahakan dipilih pada daerah yang relatif datar, akan tetapi kondisi tersebut tidak selalu bisa memungkinkan mengingat kondisi medan dan permukaan yang selalu dinamis. Kemiringan *terrain* tidak boleh lebih curam dari 20% karena kesalahan horisontal akan mempengaruhi perhitungan RMSE vertikal. Kesalahan ini akan mempengaruhi ketelitian

elevasi titik uji, dan pemilihan titik uji perlu menyebar secara merata pada lokasi survei (Flood, 2004).

- b) Ketelitian Elevasi, salah satunya ditentukan oleh besarnya RMSE (*Root Mean Square Error*) dari elevasi. Tingkat ketelitiannya secara absolut ditunjukkan dengan besarnya nilai RMSE elevasi. Penghitungan RMSE (*Root Mean Square Error*) mengetahui seberapa besar kesalahan prediksi oleh masing-masing metode interpolasi dalam menggambarkan bentuk permukaan. RMSE suatu nilai yang menunjukkan seberapa besar kesalahan atau penyimpangan hasil prediksi masing-masing metode interpolasi (ESRI, 2006).
- c) Standar Ketelitian, untuk mengevaluasi ketelitian suatu produk diperlukan suatu standar ketelitian baku yang diakui atau diterapkan oleh lembaga independen suatu negara. Setiap negara memiliki suatu referensi yang berbeda-beda tergantung dari produk yang dihasilkan. Sebagai contoh Amerika menggunakan (*National Standar for Spatial Data Accuracy*) NSSDA berdasarkan standar akurasi elevasi Airborne Laser Scanning (ALS) yang dikeluarkan oleh *American Society For Photogrametry and Remote Sensing* (ASPRS).

a) **RMSE (Root Mean Square Error)**

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{ground\ i} - Z_{dtm\ i})^2}{n - 1}}$$

dimana :

RMSE = Root Mean Square Error  
 $Z_{ground\ i}$  = Elevasi ground titik i  
 $Z_{dtm\ i}$  = Elevasi dtm titik i

b) **Rata - Rata Absolut**

$$\Delta Z = \frac{\sum_{i=1}^n |Z_{ground\ i} - Z_{dtm\ i}|}{N}$$

c) **Standard Deviasi**

$$\rho = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (|Z_{ground\ i} - Z_{dtm\ i}| - \Delta Z)^2}{n - 1}}$$

Gambar II.10. RMSE (ESRI, 2006)

STANDARD ACCURACY LIDAR			
NMAS Equivalent Contour Interval	NSSDA RMSE (z)	NSSDA Accuracy (z)	Required Accuracy for Reference Data for "Tested to Meet"
0.5	0.15 ft or 4.60 cm	0.30 ft or 9.10 cm	0.10 ft
1	0.30 ft or 9.25 cm	0.60 ft or 18.2 cm	0.20 ft
2	0.61 ft or 18.50 cm	1.19 ft or 36.3 cm	0.40 ft
4	1.22 ft or 37.0 cm	2.38 ft or 72.6 cm	0.79 ft
5	1.52 ft or 46.30 cm	2.98 ft or 90.8 cm	0.99 ft
10	3.04 ft or 92.70 cm	5.96 ft or 181.6 cm	1.98 ft
Accuracy (z) :			1.96*RMSE (z)
Difference Elevation (ΔZ) :			Zref - Zlidar

Gambar II.11. Syarat Penelitian *American Society For Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS, 2004).

## **BAB III**

### **PELAKSANAAN PENELITIAN**

#### **III.1. Persiapan**

Persiapan merupakan tahapan penting yang harus dipenuhi sebelum proses pekerjaan dilaksanakan lebih lanjut. Pengumpulan data yang diperlukan sebelum melakukan pekerjaan yaitu : data *spot height* citra LIDAR dan data *spot height* hasil pengukuran topografi.

#### **III.2. Alat Penelitian**

Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dalam proses penelitian ini baik itu perangkat lunak (*software*) maupun perangkat keras (*hardware*) antara lain :

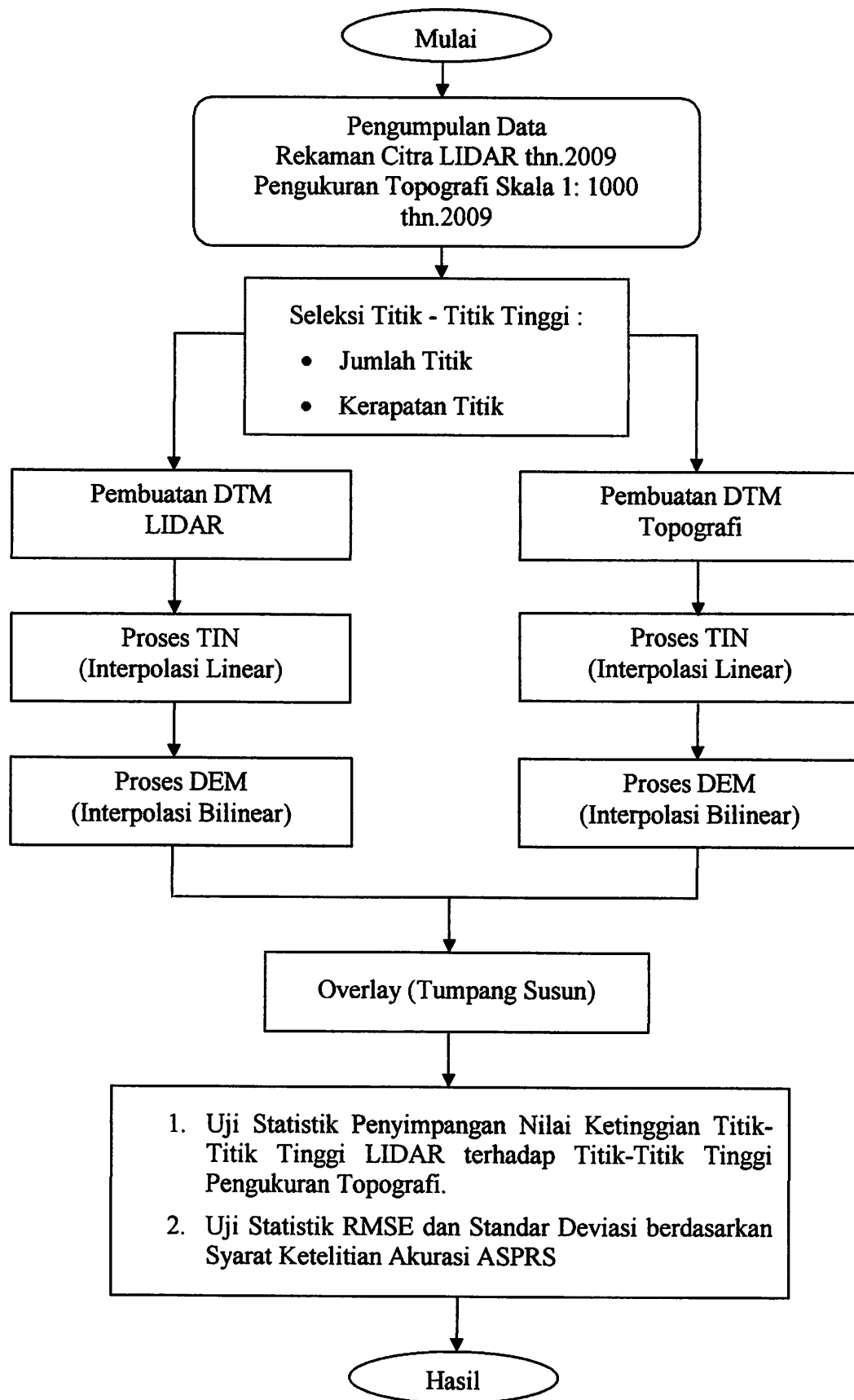
##### **1. Perangkat Lunak**

- Microsoft Office 2007
- AutoCAD Civil 3D Land Desktop Companion 2009
- ArcGIS 10
- Global Mapper 13

##### **2. Perangkat Keras**

- Perangkat komputer Intel Core 2 Duo
- Laptop ASUS A43S
- Printer

#### **III.3. Diagram Alir Penelitian**



Gambar III.1. Diagram alir rencana penelitian.

Keterangan Diagram Alir (*FlowChart*) penelitian:

1. Persiapan Penelitian.

Persiapan penelitian meliputi segala yang diperlukan dalam pekerjaan penelitian seperti perangkat lunak (*software*) maupun perangkat keras (*hardware*) kemudian data citra LIDAR, data pengukuran topografi dan semua data pendukung yang diperlukan dalam persiapan penelitian.

2. Pengumpulan Data.

Data meliputi data hasil penyiaman LIDAR berupa titik-titik 3 dimensi (*point clouds*) dengan format (x,y,z), data pengukuran titik tinggi topografi berupa data koordinat (x,y,z) kemudian perangkat lunak yang dibutuhkan dalam penelitian ini menggunakan Global Mapper 13, AutoCAD Civil 3D Land Desktop Companion 2009, ArcGIS 10, dan Microsoft Office 2007 untuk pengolahannya juga referensi-referensi yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian ini.

3. Seleksi Titik - Titik Tinggi.

Pemilihan titik dilakukan secara acak dan diusahakan mempunyai nilai elevasi yang bervariasi serta mewakili bentuk permukaan. Pemilihan data spasial yang diklasifikasikan daerah terbuka dan datar. Proses pemilihan titik tinggi dan batasan area yang kemudian dikonversi menjadi format *shapefile* untuk membangun *surface* dan proses interpolasi.

4. Pembuatan Digital Terrain Model.

Pengolahan data titik tinggi, *surface*, kontur dengan dari data titik-titik tinggi citra LIDAR dan data titik titik tinggi hasil pengukuran topografi.

5. Proses Triangulasi Irregular Network (Interpolasi Linear).

Titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi biasanya tidak tepat berada pada titik-titik tinggi citra LIDAR, sehingga perlu dilakukannya proses interpolasi linear agar titik-titik tinggi citra LIDAR dapat tepat berada pada titik-titik tinggi topografi. Penentuan posisi (x,y) dan ketinggian (z) titik uji LIDAR berdasarkan dari bentuk TIN yang dibangun dari titik-titik tinggi citra LIDAR yang diinterpolasikan berdasarkan titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi. Metode interpolasi yang dipakai TIN untuk analisis permukaan bumi dalam ArcGIS yaitu Triangulation With Linear Interpolation.

#### 6. Proses DEM (Interpolasi Bilinear)

Hasil akhir DTM disajikan dalam format raster (DEM) untuk memudahkan proses evaluasi. Untuk mendapatkan DEM, model TIN harus dikonversi ke format raster, sedangkan untuk mendapatkan nilai ketinggian titik-titik tinggi dengan format raster dari DEM dikonversi dengan interpolasi *Bilinear*. *Interpolate Shape* adalah sistem interpolasi nilai z untuk kelas fitur berdasarkan raster yang mendasari (DEM), jaringan triangulasi yang tidak teratur (TIN), atau permukaan dataset medan (*terrain*).

#### 7. Overlay (Tumpang Susun).

Proses pertampalan dari model DTM citra LIDAR dan DTM topografi untuk analisa perbedaan ketinggian titik-titik tinggi dari data *spot height* citra LIDAR dan data *spot height* topografi dengan *identify* pada layer-layer yang diperlukan. Lalu dilakukan pembacaan penyimpangan pada nilai ketinggian titik-titik tinggi yang bertampalan model DTM dan DEM, sehingga dapat pula dilakukan uji ketelitian pada interpolasi linear dari :

- Penyimpangan ketinggian LIDAR – Topografi : Layer titik-titik tinggi citra LIDAR dan layer TIN dari titik-titik tinggi topografi.
- Penyimpangan ketinggian Topografi – LIDAR : Layer titik-titik tinggi topografi dan layer TIN dari titik-titik tinggi citra LIDAR.

#### 8. Uji Statistik Penyimpangan Nilai Ketinggian dan RMSE.

- Evaluasi ketinggian dilakukan dengan penyimpangan ketinggian titik-titik tinggi hasil pengukuran di lapangan dengan ketinggian titik-titik tinggi dengan format raster DEM yang dibentuk dari TIN, dan kroscek penyimpangan nilai ketinggian pada masing-masing model DTM dan DEM dengan hasil nilai ketinggian dari interpolasi linier.
- Perhitungan RMSE, Standard Deviasi dan ketelitian titik-titik tinggi LIDAR berdasarkan syarat *American Society For Photogrametry and Remote Sensing (ASPRS)*.

#### 9. Hasil.

Hasil dari penelitian ini adalah nilai ketinggian dari uji statistik penyimpangan nilai ketinggian antara titik-titik tinggi citra LIDAR dengan titik tinggi hasil pengukuran topografi, dan peta penyebaran titik-titik tinggi citra LIDAR dan titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi.

### III.4. Pengolahan Data

Proses ini merupakan tahapan penting yang harus dilaksanakan lebih lanjut dalam penelitian. Setelah proses persiapan dan pengumpulan data yang diperlukan akan diolah berdasarkan referensi-referensi yang ada.

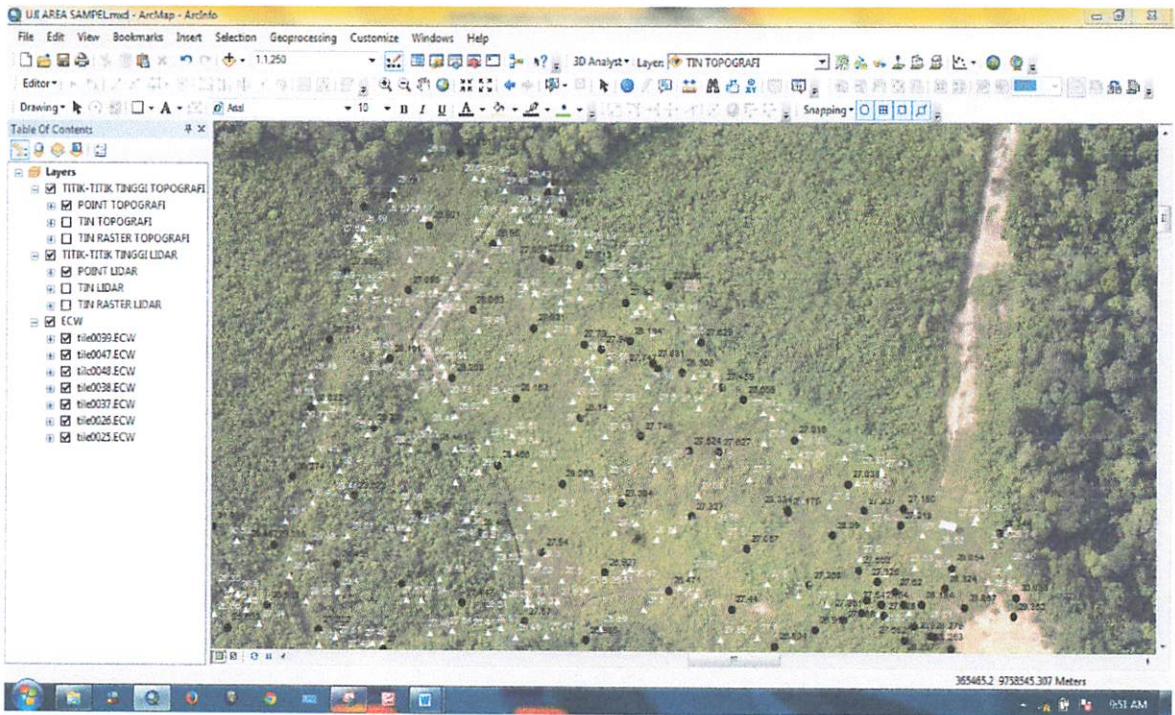


### III.4.1 Seleksi Pemilihan Titik Tinggi

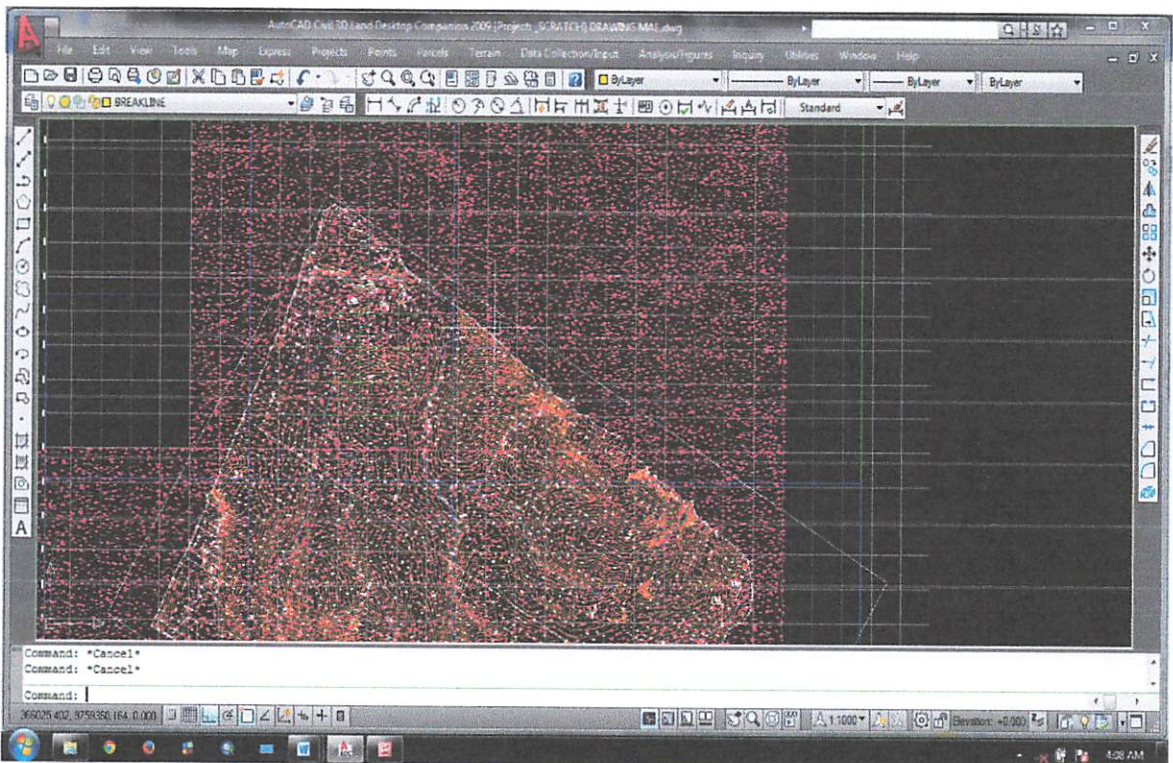
Pemilihan titik-titik tinggi dilakukan secara acak dan diusahakan mempunyai nilai ketinggian (elevasi) yang bervariasi serta mewakili bentuk permukaan. Proses pembuatan jaringan triangulasi tidak beraturan (TIN) menggunakan *plotting* data titik-titik tinggi awal sebelum dioverlaykan dan data titik-titik tinggi yang sudah dioverlaykan pada (posisi X,Y yang sama). Studi wilayah yang diukur dari area tambang batubara seluas 2361651.067m<sup>2</sup> (237 Ha), sedangkan data sampel untuk penelitian dari penyimpangan ketinggian titik-titik tinggi antara data titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi dan data titik-titik tinggi citra LIDAR akan dilakukan dengan pemilihan data titik-titik tinggi sebagai berikut:

- Jumlah titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi sebanyak 50 titik dan titik-titik tinggi citra LIDAR sebanyak 50 titik pada daerah datar dan terbuka seluas 2,4 Ha.
- Titik-titik tinggi dipilih berdasarkan kerapatan titik dan jumlah titik yang sama dan saling mendekati, agar lebih tidak mengurangi ketelitian dari masing-masing data titik-titik tinggi dan lebih mendekati logika.

Penyebaran titik-titik tinggi dapat dilihat pada gambar III.2.a dan gambar III.2.b dibawah ini.



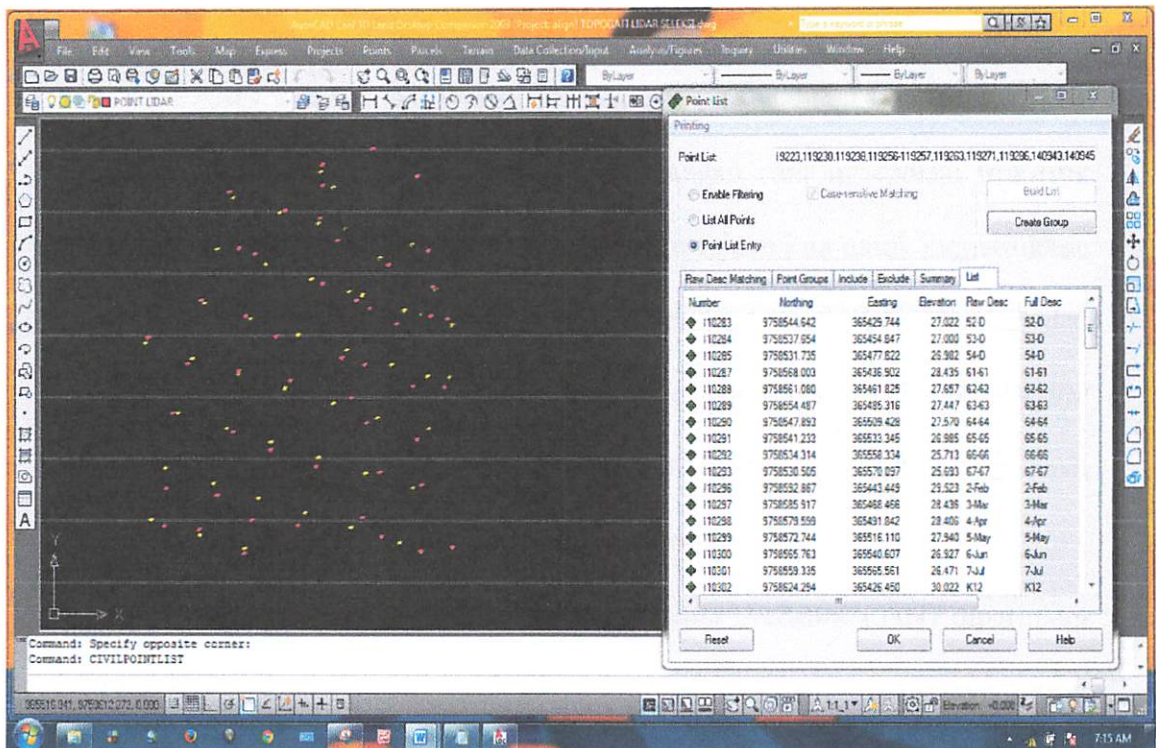
Gambar III.2.a. Penyebaran Titik-Titik Tinggi Citra LIDAR dan Titik-Titik Tinggi Hasil Pengukuran Topografi.



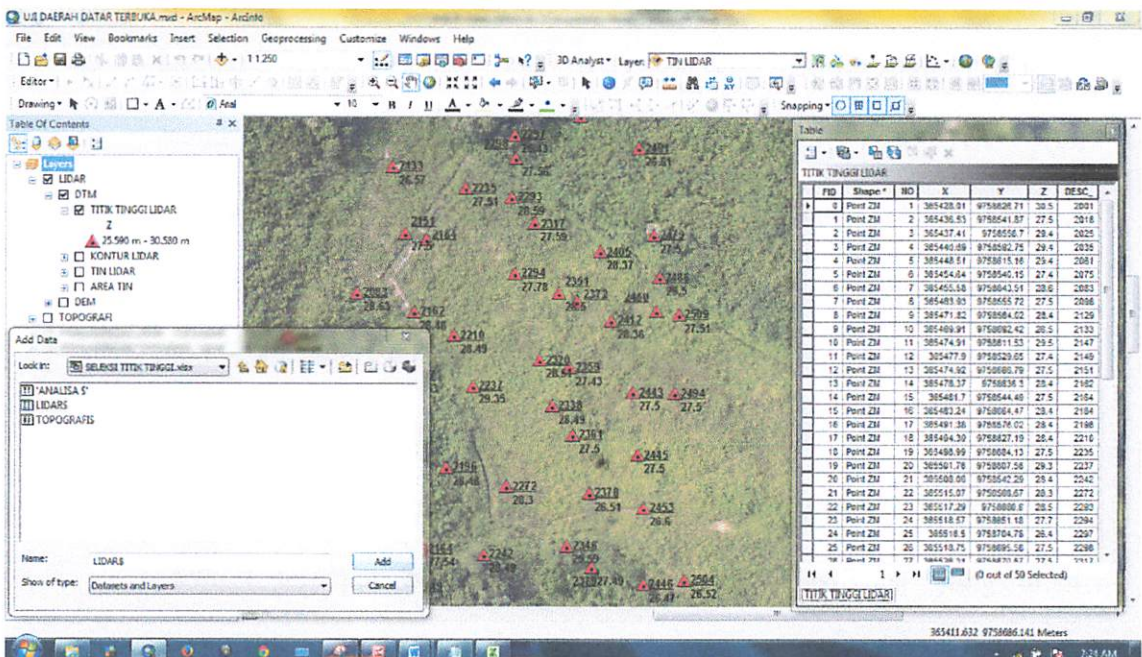
Gambar III.2.b. Penyebaran Titik-Titik Tinggi Citra LIDAR dan Titik-Titik Tinggi Hasil Pengukuran Topografi.

### III.4.2 Pembuatan Digital Terrain Model (DTM)

Pembuatan *surface* model permukaan digital berdasarkan kerapatan titik dan jumlah titik pada area datar dan terbuka. Pemilihan titik-titik tinggi dari plotting data titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi dan titik-titik tinggi citra LIDAR pada AutoCAD Civil 3D Land Desktop Companion 2009, lalu memilih titik uji dan lakukan *list point* dan *print to file* ke dalam format *\*.txt*. Data titik-titik tinggi topografi dan LIDAR yang telah terbangun dan tergambar pada AutoCAD Civil 3D Land Desktop Companion 2009 selanjutnya dikonversi ke bentuk ekstensi *\*.txt* dengan *notepad* dan disimpan ke MS.Excel 2010 untuk editing data spasial lebih lanjut pada ARCGIS 10. Proses pemanggilan data dari MS.Excel 2010 dilakukan dengan *add \*.shp* titik tinggi dan citra orthophoto (ECW) selanjutnya layer titik-titik tinggi diatur penampilan nilai *values* dan warna pada *Properties – Symbolologies – Categories – Quantities* pada ArcGIS 10.



Gambar III.3.a. Seleksi Titik-Titik Tinggi dari Titik-Titik Tinggi Citra LIDAR dan Titik-Titik Tinggi Hasil Pengukuran Topografi.



Gambar III. 3.b. Seleksi Titik-Titik Tinggi dari Titik-Titik Tinggi Citra LIDAR dan Titik-Titik Tinggi Hasil Pengukuran Topografi.

### III.4.3 Proses Triangulasi Irregular Network (Interpolasi Linear).

Pembuatan garis kontur dilakukan dengan cara interpolasi titik-titik tinggi hasil pengukuran di lapangan. Salah satu tujuan kita untuk memasukkan data XYZ (plotting data titik) adalah membuat garis-garis kontur dan menghasilkan data ketinggian (elevasi) yang biasa disebut DEM (*Digital Elevation Model*) dari titik-titik tinggi LIDAR dan titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi dengan modul *3D Analyst*.

Proses interpolasi *Triangulation Irregular Network* (TIN) diperlukan dua model *project* pada ArcGIS 10 yang telah dibangun sebelumnya, yaitu: \*.shp titik tinggi topografi, \*.shp titik tinggi LIDAR, dan ECW. Dari data point titik-titik tinggi dijadikan dasar pembuatan TIN. *Triangulated Irregular Network* (TIN) adalah struktur yang merepresentasikan permukaan dengan membangun jejaring segitiga. Langkah membuat TIN sebagai berikut:

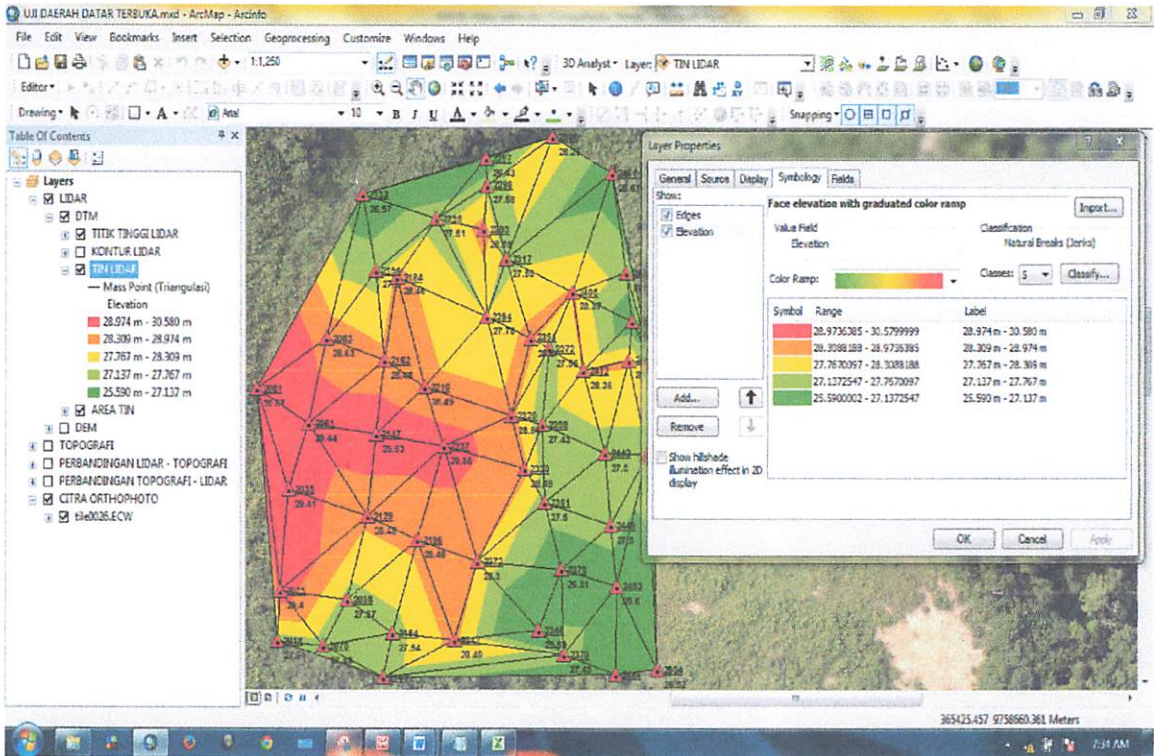
- a) Lakukan konversi *feature* ke TIN dengan ekstensi *3D Analyst*. Cari di menu *3D Analyst Tools - Create/Modify TIN - Create TIN From Features* dengan *input feature class* data point, pada pilihan opsional *Constrained Delaunay* untuk pemadatan *breakline* otomatis untuk mencegah pembentukan banyak segitiga dari satu segmen *breakline*. Pilih *Classify*, untuk menentukan klasifikasi dari Zona Ketinggian tersebut. Maka akan muncul kotak dialog *Classification*. Pada kolom *Method* terdapat beberapa pilihan metode klasifikasi yang akan digunakan, antara lain :
  - *Equal Interval*, klasifikasi berdasarkan banyaknya kelas yang akan digunakan.

- *Defined Interval*, klasifikasi berdasarkan interval dari ketinggian kontur tersebut (misal 50 m, 100 m dll).
  - *Natural Breaks Jenks*, klasifikasi berdasarkan nilai kelas alami, dengan meminimalkan penyimpangan rata-rata sambil memaksimalkan deviasi dari kelas lain.
- b) Atur warna yang akan digunakan, bisa menggunakan susunan warna pada *Color Ramp* (pada kotak dialog *Layer Properties*), pengaturan pemilihan tampilan warna untuk tiap-tiap klas tersebut sesuai dengan kebutuhan. Setelah dilakukan pengaturan tersebut, maka pada tampilan ArcMap akan tampil klasifikasi zona ketinggian. Dari tiap interval yang ada memiliki gradient warna yang tidak sama, agar terlihat bentuk permukaan bumi sebenarnya. Jaring segitiga dapat ditambahkan pada *edges*.
- c) DEM harus dikonversi ke format raster untuk memudahkan proses evaluasi maka kita konversi TIN ke format Raster (GRID). Format ini sama dengan format SRTM, yaitu berisi sel sel dengan ukuran tertentu yang mana setiap nilai sel menunjukkan angka ketinggian. Dengan cara *3D Analyst - Conversion - From TIN – TIN to Raster*.
- d) Cara memperoleh nilai elevasi dari data raster ini dengan menggunakan tool yang ada di ArcGIS yaitu "*Interpolate Shape*" pada ekstensi *3D Analyst*. Tool ini tidak hanya digunakan untuk data titik saja melainkan juga bisa digunakan pada data garis maupun area atau poligon. Jika data surface yang digunakan data raster DEM dan SRTM maka metode interpolasinya dipilih "*Bilinear*", jika data surface berupa data TIN,

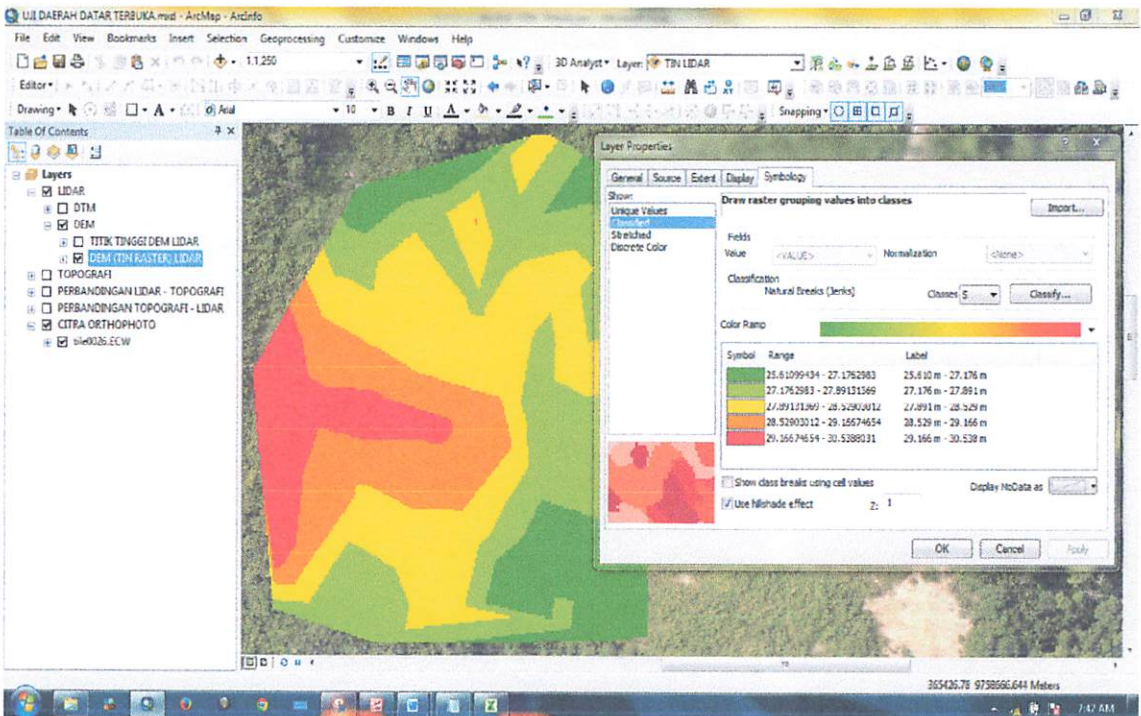
Terrain dan sejenisnya maka metode interpolasinya menggunakan *Linear*, *Natural Neighbor* dan *Conflate*. *Sampling distance* digunakan jika data *feature class* berupa *line* atau *polygon*. Setelah proses dilakukan buka data hasil interpolasi yang berupa titik tadi terus tambahkan *field* (kolom) dengan nama bebas (misal: Z) dan tipe double untuk angka ketinggian. Setelah itu perlu *Calculate Geometry* dan pilih “Z point” dengan koordinat yang dipakai dengan satuan meter. Tingkat ketelitian ketinggian tergantung pada karakteristik data *surface*. Setelah data raster dikonversi maka file tersebut bisa dikonversikan menjadi file ekstensi *\*.shp* baru dengan informasi berekstensi *\*.dbf* berisi ketinggian (elevasi) dengan format raster TIN (DEM) yang bisa dihitung untuk RMS error dan penyimpangan dengan elevasi lapangan.

- e) Cara memperoleh informasi kontur dan margin ketinggian kontur dapat menggunakan *Generate Contours* dari data DEM (Raster TIN) yang kita buat dengan cara eksport data DEM pada folder penyimpanan, upload data DEM pada Global Mapper 13, *File – Generate Contours – Contour Generation Option* dengan memasukkan interval kontur yang akan dibuat, lalu *Export Vector Format – Select Export Format – Shapefile Export Option*. Selanjutnya data ekstensi *\*.shp* kontur dapat di tambahkan pada ArcGIS.

Proses pembuatan DTM dan DEM dari titik-titik tinggi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

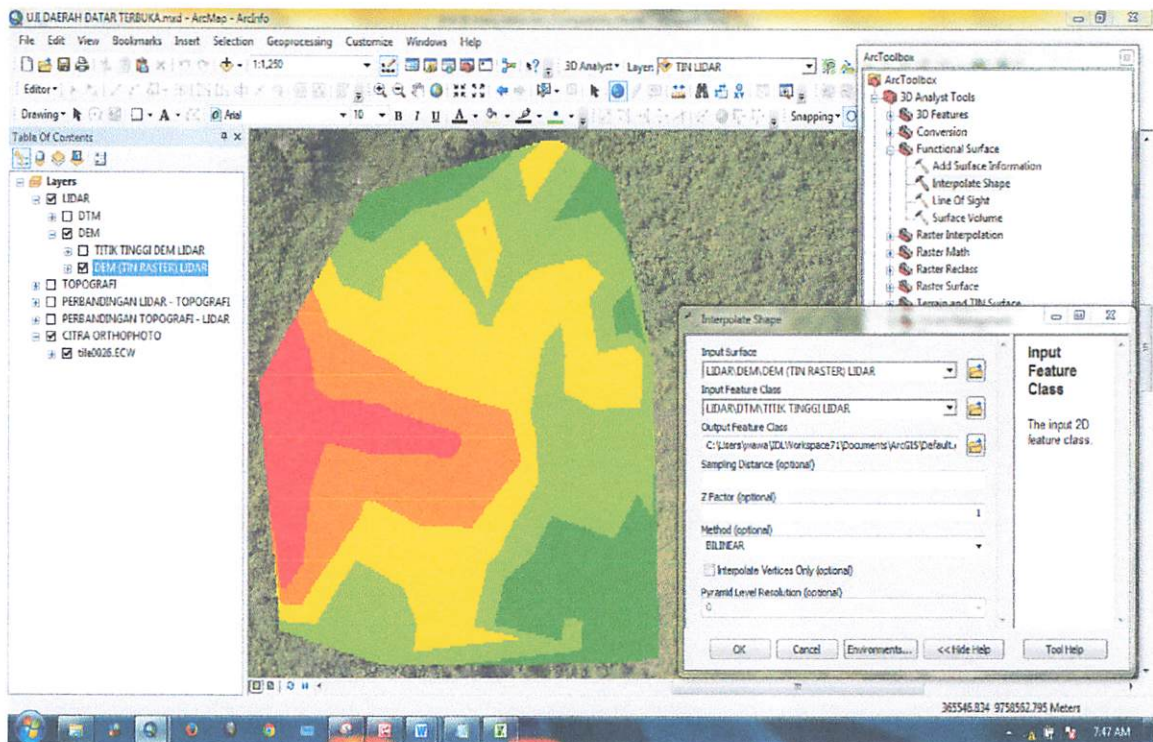


Gambar III.4. Triangulasi Irregular Network (TIN)

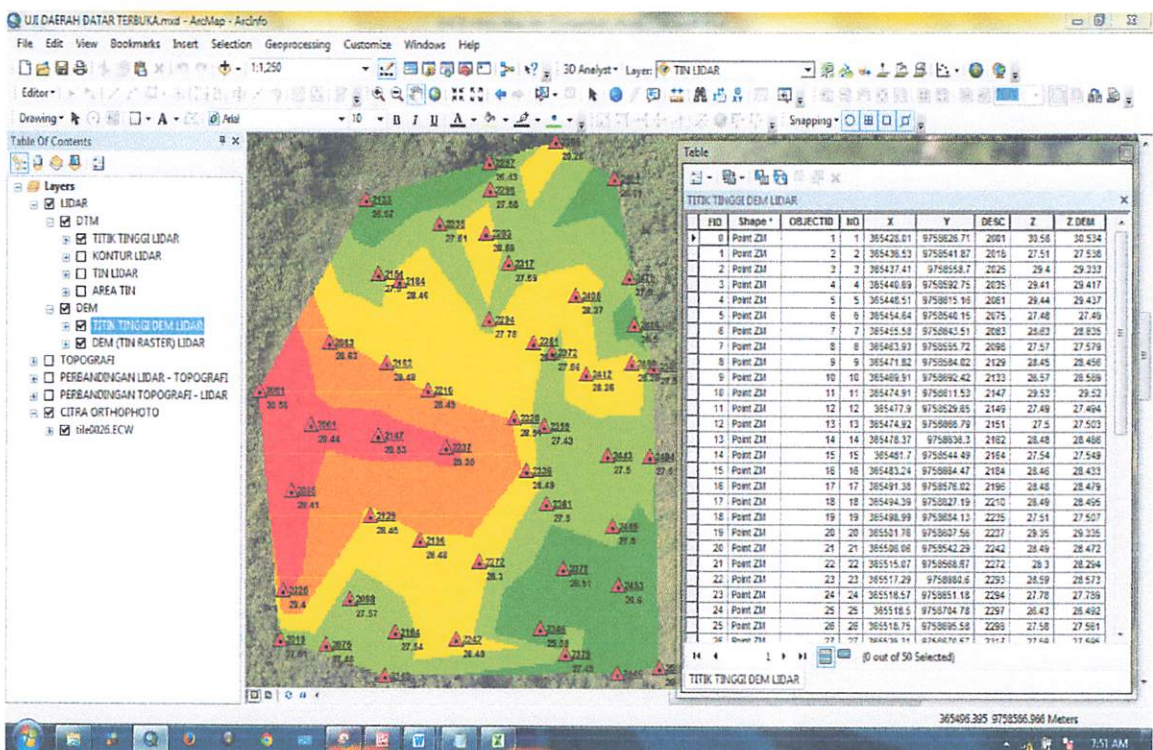


Gambar III.5. Digital Elevasi Model (DEM).

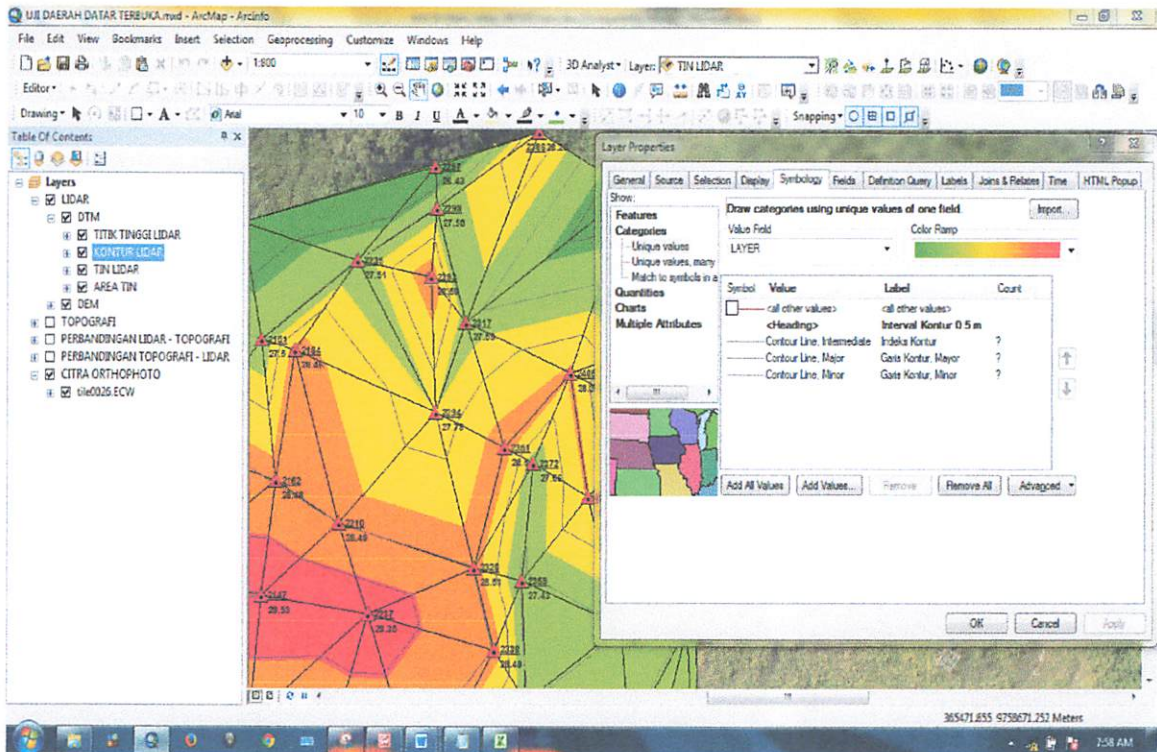




Gambar III.6. Interpolasi Shape Raster DEM.



Gambar III.7. DEM dengan Titik-Titik Tinggi Hasil Interpolasi Shape.



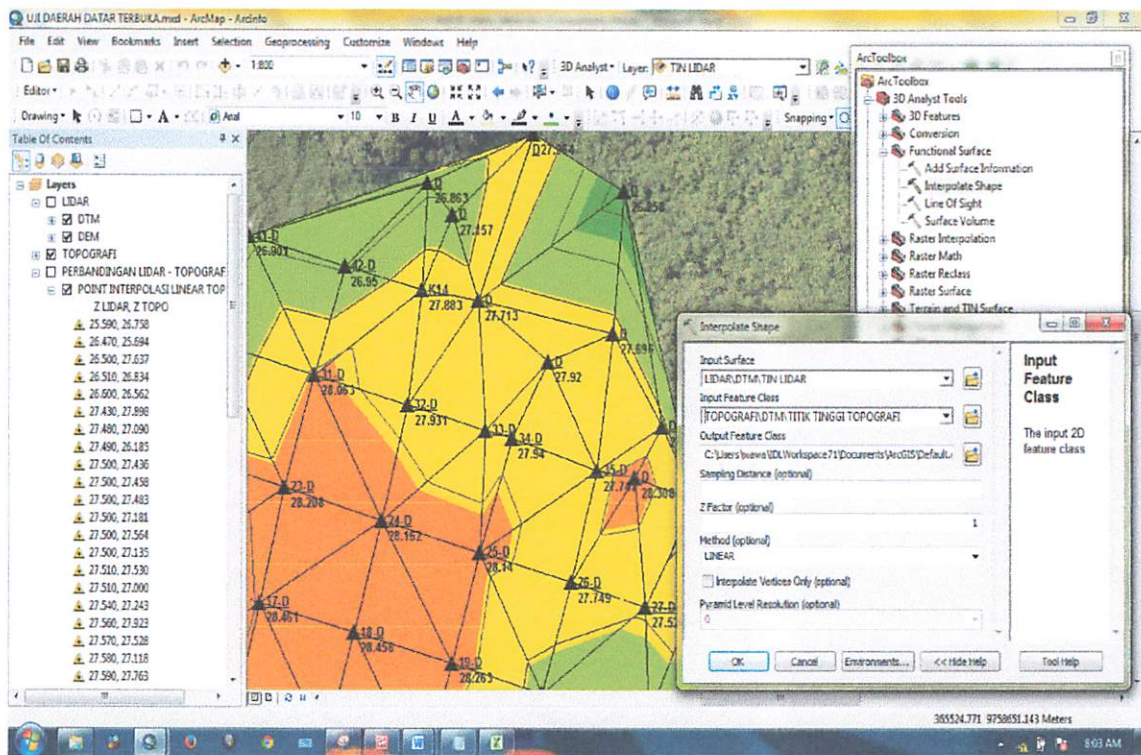
Gambar III.8. Garis Kontur.

### III.4.4 Overlay (Tumpang Susun)

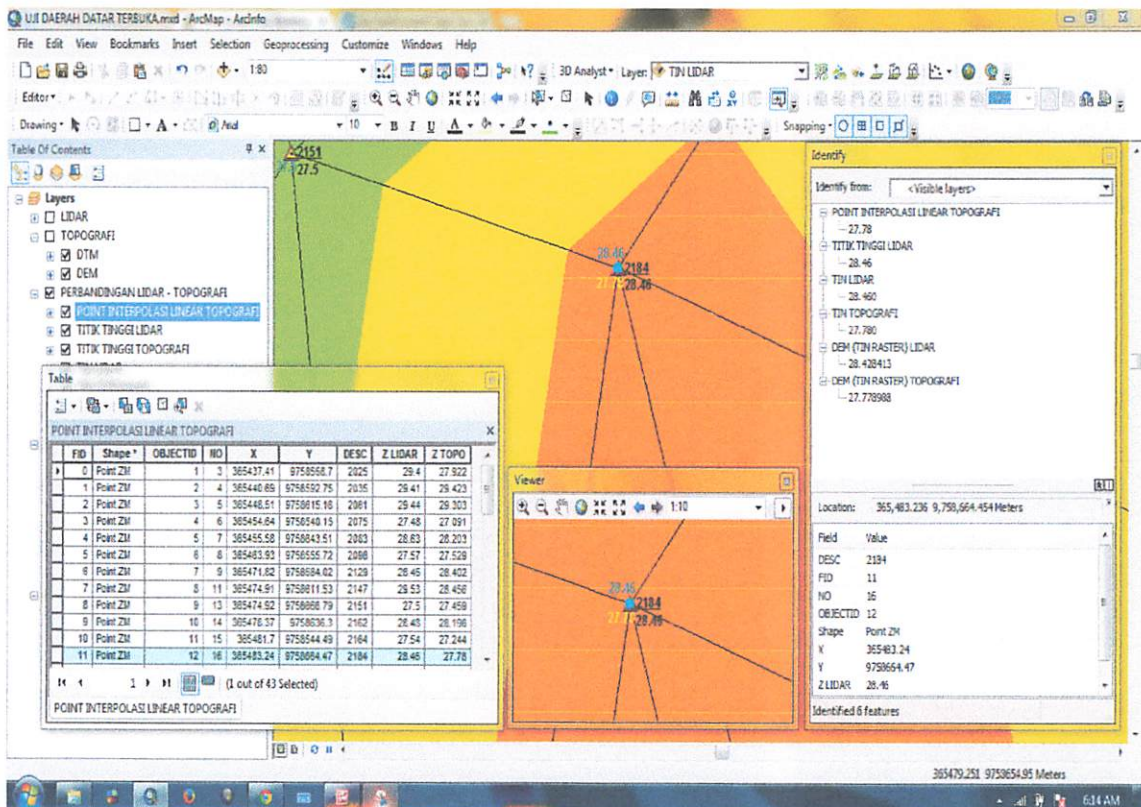
Titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi biasanya tidak tepat berada pada titik-titik tinggi cita LIDAR, sehingga perlu dilakukannya proses interpolasi linear agar titik-titik tinggi cita LIDAR dapat tepat berada pada titik-titik tinggi topografi. Pada proses ini posisi titik-titik tinggi diinterpolasi dengan metode interpolasi linear untuk mendapatkan pertampalan atau posisi (x,y) yang sama untuk penyimpangan ketinggian dari dua model data titik tinggi antara titik-titik tinggi cita LIDAR dan titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi. Dengan menggunakan layer titik-titik tinggi LIDAR diinterpolasikan dengan bentuk model *surface* TIN dari topografi, dan sebaliknya dari data titik-titik tinggi topografi yang diinterpolasikan dengan

bentuk model *surface* TIN dari LIDAR. Proses pertampalan dari model DTM citra LIDAR dan DTM topografi untuk analisa perbedaan ketinggian titik-titik tinggi dari data titik-titik tinggi citra LIDAR dan data titik-titik tinggi topografi dengan pembacaan penyimpangan pada nilai ketinggian titik-titik tinggi yang bertampalan model DTM dan DEM menggunakan *identify query visible layer* pada layer-layer yang diperlukan. Langkah – langkah yang diperlukan dalam proses *Interpolasi Linear* adalah :

- Pertampalan posisi pada menu *Interpolate Shape* : database yang digunakan adalah layer TIN Lidar dan layer titik-titik tinggi topografi agar hasil titik-titik tinggi LIDAR (*point clouds*) bertampalan dengan topografi (berada di posisi x,y sama), menu pilihan interpolasi adalah metode linear TIN. Dan begitu juga sebaliknya pembuatan pada layer TIN topografi dan layer titik-titik tinggi LIDAR.
- Pembuatan \*.shp titik tinggi baru dari hasil *overlay*.
- *Crooscheck* pembacaan penyimpangan nilai ketinggian titik-titik tinggi yang bertampalan pada model DTM dan DEM, sehingga dapat pula dilakukan uji ketelitian pada interpolasi linear yang telah dibuat, dengan melakukan *identify query visible layer*.
- Perhitungan beda ketinggian titik-titik uji LIDAR dengan titik-titik tinggi dari topografi.



Gambar III.9. Interpolasi Shape dengan Metode Interpolasi Linear (TIN).



Gambar III.10. Penyimpanan Ketinggian dengan *identify query visible layer*.

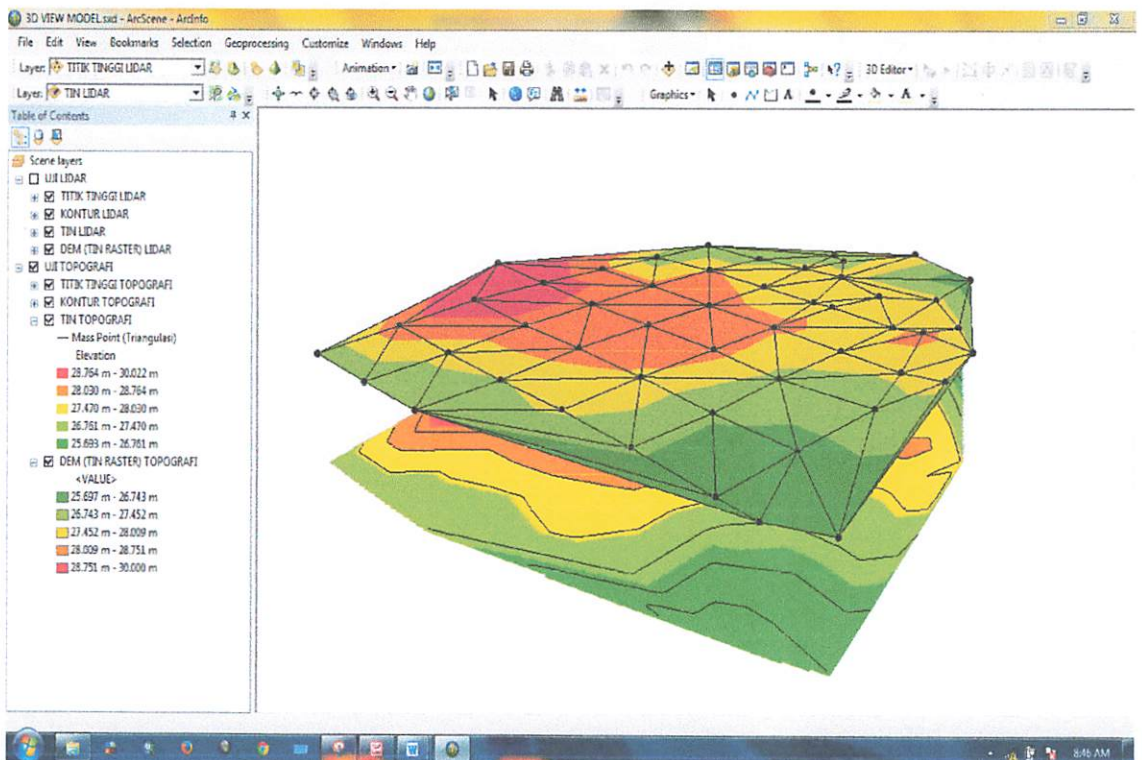
### III.4.5 Analisa Penyimpangan Ketinggian Titik-Titik Tinggi

Dengan menggunakan menu *Open Atribut Table*, maka tabel data informasi database dari perbedaan ketinggian lapangan (TIN) dan ketinggian raster DEM dapat disajikan dan semua data *shapefile* dapat disalin (*sorot atau drag* langsung ke MS Excel) untuk file ekstensi (\*.dbf) ke dalam MS.Excel 2010 untuk perhitungan penyimpangan antara nilai ketinggian dari ukuran lapangan dengan nilai ketinggian dari raster yang dihasilkan DEM. Dari data nilai ketinggian dari raster tersebut dapat dihitung dengan syarat RMSE dan akurasi ketelitian LIDAR yang dapat diterima berdasarkan syarat *American Society For Photogrametry and Remote Sensing (ASPRS) Standart Accuracy*  $(z) = 1.96 * RMSE (z)$  dari interval kontur 0.5 meter – 10 meter. Dalam pekerjaan data ini memakai syarat ASPRS pada interval kontur 0.5 meter.

Untuk tampilan 3D View, dapat dibangun pada ArcScene 10, dengan menggunakan langkah *Add Data dari layer-layer* yang dibutuhkan dapat ditambahkan untuk visualisasi 3D. Dengan membangun dua model data 3D View untuk LIDAR dan 3D View Topografi dapat dilihat model perbedaan TIN dan DEM secara atraktif.

OBJECTID	NO	X	Y	DESC	Z_LIDAR	Z_TOPO
1	1	3.0000000000	365437.4100000000	9758358.7000000000	2025.0000000000	29.4000000000
2	2	4.0000000000	365440.6900000000	9758592.7500000000	2035.0000000000	29.4100000000
3	3	5.0000000000	365448.5100000000	9758615.1600000000	2061.0000000000	29.4400000000
4	4	6.0000000000	365454.6400000000	9758540.1500000000	2075.0000000000	27.4800000000
5	5	7.0000000000	365455.5800000000	9758643.5100000000	2083.0000000000	28.6300000000
6	6	8.0000000000	365463.9300000000	9758535.7200000000	2098.0000000000	27.5700000000
7	7	9.0000000000	365471.8200000000	9758584.0200000000	2129.0000000000	28.4500000000
8	8	11.0000000000	365474.9100000000	9758611.5300000000	2147.0000000000	29.5300000000
9	9	13.0000000000	365474.9200000000	9758665.7900000000	2151.0000000000	27.5000000000
10	10	14.0000000000	365478.3700000000	9758636.3000000000	2162.0000000000	28.4800000000
11	11	15.0000000000	365481.7000000000	9758544.4900000000	2164.0000000000	27.5400000000
12	12	16.0000000000	365483.2400000000	9758664.4700000000	2184.0000000000	28.4600000000
13	13	17.0000000000	365491.3800000000	9758576.0200000000	2196.0000000000	28.4800000000
14	14	18.0000000000	365494.3900000000	9758627.1500000000	2210.0000000000	28.4900000000
15	15	19.0000000000	365498.9900000000	9758694.1300000000	2235.0000000000	27.5100000000
16	16	20.0000000000	365501.7600000000	9758607.5600000000	2237.0000000000	28.3500000000
17	17	21.0000000000	365506.0600000000	9758542.2900000000	2242.0000000000	28.4900000000
18	18	22.0000000000	365515.0700000000	9758568.6700000000	2272.0000000000	28.3000000000
19	19	23.0000000000	365517.2900000000	9758680.6000000000	2293.0000000000	28.5900000000
20	20	24.0000000000	365518.5700000000	9758651.1800000000	2294.0000000000	27.7800000000
21	21	26.0000000000	365518.7500000000	9758695.5800000000	2298.0000000000	27.5800000000
22	22	27.0000000000	365526.3100000000	9758615.0000000000	2311.0000000000	27.3900000000
23	23	28.0000000000	365528.3700000000	9758617.5500000000	2320.0000000000	28.5100000000
24	24	29.0000000000	365533.4600000000	9758595.8100000000	2338.0000000000	28.4900000000
25	25	30.0000000000	365539.2100000000	9758545.7200000000	2346.0000000000	25.5900000000

Gambar III.11. File Ekstensi DBF dari Shapefile.



Gambar III.12. 3D View TIN dan DEM Topografi.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1. Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Dan Data LIDAR

Pemilihan titik-titik tinggi dilakukan secara acak dan diusahakan mempunyai nilai ketinggian (elevasi) yang bervariasi serta mewakili bentuk permukaan. Proses pembuatan jaringan triangulasi tidak beraturan (TIN) menggunakan *plotting* data titik-titik tinggi awal sebelum dioverlaykan dan data titik-titik tinggi yang sudah dioverlaykan pada (posisi X,Y yang sama). Studi wilayah yang diukur dari area tambang batubara seluas 2361651.067m<sup>2</sup> (237 Ha), sedangkan data sampel untuk penelitian dari penyimpangan ketinggian titik-titik tinggi antara data titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi dan data titik-titik tinggi citra LIDAR akan dilakukan dengan pemilihan data titik-titik tinggi sebagai berikut:

- Jumlah titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi sebanyak 50 titik dan titik-titik tinggi citra LIDAR sebanyak 50 titik pada daerah datar dan terbuka seluas 2,4 Ha.
- Titik-titik tinggi dipilih berdasarkan kerapatan titik dan jumlah titik yang sama dan saling mendekati, agar lebih tidak mengurangi ketelitian dari masing-masing data titik-titik tinggi dan lebih mendekati logika.

#### IV.1.1. Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Dan Data LIDAR Terhadap DEM

Berikut ini adalah hasil dari interpolasi titik-titik tinggi menggunakan metode TIN pada daerah datar dan terbuka sebelum di-*overlay*, tetapi kondisi titik tinggi berada pada posisi masing – masing model, dimana model dipilih berdasarkan kerapatan titik dan jumlah titik yang saling mendekati. Hasil yang didapat adalah :

- a) Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Terhadap DEM.
- b) Penyimpangan Ketinggian Data LIDAR Terhadap DEM.

**Tabel 4.1. Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Dan Data LIDAR Terhadap DEM**

PENYIMPANGAN KETINGGIAN DATA TOPOGRAFI DAN DATA LIDAR TERHADAP DEM							
NO	DTM	$\Delta h$ (m)	RMSE (m)	Standar Akurasi ASPRS (m)	Interval Contour (m)	Akurasi Yang Diterima Sesuai ASPRS	
						NSSDA RMSE (m)	NSSDA Accuracy (m)
1	Topografi	0,000	0,009	0,018	0.5	0.046	0.091
2	LIDAR	0,001	0,014	0,028			

KETERANGAN		:	Memenuhi Syarat ASPRS
		:	Tidak Memenuhi Sesuai Syarat ASPRS

Catatan :

NSSDA adalah *National Standard for Spatial Data Accuracy*.

Tabel diatas adalah penyimpangan nilai titik- titik ketinggian data topografi dan data LIDAR terhadap DEM. Tabel perhitungan ketinggian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



#### IV.1.2. Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR

Titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi biasanya tidak tepat berada pada posisi titik-titik tinggi citra LIDAR, sehingga perlu dilakukannya proses interpolasi linear agar titik-titik tinggi citra LIDAR dapat tepat berada pada titik-titik tinggi topografi. Penentuan posisi (x,y) dan ketinggian (z) titik uji LIDAR berdasarkan dari bentuk TIN yang dibangun dari titik-titik tinggi citra LIDAR yang diinterpolasikan berdasarkan titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi. Hasil analisa yang telah dilakukan adalah:

- a) Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR terhadap DEM.

PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA KOORDINAT DTM YANG SAMA TERHADAP DEM							
NO	DTM	$\Delta h$ (m)	RMSE (m)	Standar Akurasi ASPRS (m)	Interval Contour (m)	Akurasi Yang Diterima Sesuai ASPRS	
						NSSDA RMSE (m)	NSSDA Accuracy (m)
1	Topografi	0,002	0,010	0,019	0.5	0.046	0.091
2	LIDAR	0,005	0,012	0,023			

KETERANGAN		:	Memenuhi Syarat ASPRS
		:	Tidak Memenuhi Sesuai Syarat ASPRS

Catatan :

NSSDA adalah *National Standard for Spatial Data Accuracy*.

Tabel diatas adalah penyimpangan nilai titik- titik ketinggian pada koordinat DTM yang sama antara data topografi dan data LIDAR terhadap DEM. Tabel perhitungan ketinggian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

b) Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR.

PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA POSISI YANG SAMA ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN LIDAR							
NO	Crosscheck DTM	$\Delta h$ (m)	RMSE (m)	Standar Akurasi ASPRS (m)	Interval Contour (m)	Akurasi Yang Diterima Sesuai ASPRS	
						NSSDA RMSE (m)	NSSDA Accuracy (m)
1	LIDAR - Topografi	0,279	0,469	0,919	5	0.463	0.908
2	Topografi - LIDAR	-0,279	0,382	0,748			

KETERANGAN		:	Memenuhi Syarat ASPRS
			:

Catatan :

NSSDA adalah *National Standard for Spatial Data Accuracy*.

Tabel diatas adalah penyimpangan nilai titik- titik ketinggian pada posisi yang sama antara data topografi dan data LIDAR. Tabel perhitungan ketinggian selengkapnya dapat dilihat di lampiran.

## IV.2. Tinjauan Hasil Penelitian

Model permukaan bumi digital Topografi dan LIDAR yang berada dalam satu sistem proyeksi koordinat yang sama WGS 1984 UTM Zone 48S dibangun TIN dengan metode *Interpolasi Linear* untuk mendapatkan nilai ketinggian pada setiap lokasi cek poin. Dalam kepentingan rekonstruksi spasial 3D, interpolasi linear digunakan untuk membentuk *mesh* (bertautan) TIN yang berbentuk segitiga yang ditentukan oleh minimal 3 titik (x,y,z). Untuk mendapatkan nilai ketinggian (elevasi) dari bentuk raster TIN dan perbedaan ketinggian pada titik sampel yang sama diperlukan upaya interpolasi titik dari nilai grid untuk mendapatkan nilai

koreksi dengan Interpolasi *Bilinear*. Dengan kontur 0,5 m maka didapatkan hasil akurasi LIDAR dan syarat RMSE kedua data yang memenuhi standar ASPRS, yaitu :

**a) Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Dan Data LIDAR Terhadap DEM**

Pada model data ini posisi titik-titik tinggi disusun acak berdasarkan model DTM data masing-masing. Dengan pemilihan atau seleksi titik-titik tinggi dari area datar dan terbuka, maka titik-titik tinggi citra LIDAR dan titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi (x,y,z) dari hasil pengukuran lapangan diproses ke dalam bentuk TIN, DEM, dan kontur. Hasil perhitungan yang didapat dalam proses ini adalah:

- a) Titik-titik tinggi topografi menghasilkan RMSE 0.009 m, NSSDA Akurasi 0.018 m, dari kesalahan maksimal RMSE 0.046 m dan kesalahan maksimal NSSDA Akurasi 0.091 m untuk interval kontur 0.5 meter.
- b) Titik-titik tinggi LIDAR menghasilkan RMSE 0.014 m, NSSDA Akurasi 0.028 m, dari kesalahan maksimal RMSE 0.046 m dan kesalahan maksimal NSSDA Akurasi 0.091 m untuk interval kontur 0.5 meter.

**b) Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR**

Pada model data ini posisi titik-titik tinggi diinterpolasi dengan metode interpolasi linear untuk mendapatkan pertampalan (*overlay*) atau posisi (x,y) yang sama untuk penyimpangan ketinggian dari dua model data titik tinggi antara titik-

titik tinggi citra LIDAR dan titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi. Dengan menggunakan layer titik-titik tinggi LIDAR diinterpolasikan dengan bentuk model *surface* TIN Topografi, dan sebaliknya dari data titik-titik tinggi topografi yang diinterpolasikan dengan bentuk model *surface* TIN LIDAR. Hasil perhitungan yang didapat dalam proses ini adalah:

a) Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR terhadap DEM, menghasilkan :

1. Titik-titik tinggi topografi menghasilkan RMSE 0.010 m, NSSDA Akurasi 0.019 m, dari kesalahan maksimal RMSE 0.046 m dan kesalahan maksimal NSSDA Akurasi 0.091 m untuk interval kontur 0.5 meter.
2. Titik-titik tinggi LIDAR menghasilkan RMSE 0.012 m, NSSDA Akurasi 0.023 m, dari kesalahan maksimal RMSE 0.046 m dan kesalahan maksimal NSSDA Akurasi 0.091 m untuk interval kontur 0.5 meter.

b) Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data LIDAR untuk penyimpangan pembacaan ketinggian pada dua model DTM.

1. Perbedaan Ketinggian LIDAR – Topografi, menghasilkan RMSE 0.469 m, NSSDA Akurasi 0.919 m, dari kesalahan maksimal RMSE 0.463 m dan kesalahan maksimal NSSDA Akurasi 0.908 m untuk interval kontur 5 meter.

2. Perbedaan Ketinggian Topografi – LIDAR, menghasilkan RMSE 0.382 m, NSSDA Akurasi 0.748 m, dari kesalahan maksimal RMSE 0.463 m dan kesalahan maksimal NSSDA Akurasi 0.908 m untuk interval kontur 5 meter.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### IV.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan antara lain:

1. Dengan rekonstruksi *Interpolasi Linear* TIN antara titik-titik tinggi citra LIDAR dan titik-titik tinggi hasil pengukuran topografi, dengan seleksi jumlah titik yang sama dan faktor kerapatan titik dapat membuktikan titik-titik tinggi citra LIDAR memenuhi syarat akurasi ketelitian tinggi sebesar 0.028 m dari kesalahan maksimal RMSE 0.046 m dan kesalahan maksimal NSSDA Akurasi 0.091 m untuk interval kontur 0.5 meter yang dikeluarkan oleh *American Society For Photogrametry and Remote Sensing* (ASPRS) pada luas area 2.4 Ha.
2. *Crosscheck* pembacaan ketinggian dari kedua model yang bertampalan posisi dengan menggunakan *Interpolate Shape*. Pada model dari database *surface* TIN Lidar dan DTM titik-titik tinggi topografi lebih baik dan bisa diterima dengan menghasilkan perbedaan ketinggian sebesar  $\pm 0.279$  meter, RMSE 0.382 m, NSSDA Akurasi 0.748 m, dari kesalahan maksimal RMSE 0.463 m dan kesalahan maksimal NSSDA Akurasi 0.908 m untuk interval kontur 5 meter.
3. Perbedaan ketinggian sebesar  $\pm 0.279$  meter antara titik-titik tinggi LIDAR dengan titik-titik tinggi Topografi bisa terjadi oleh berbagai kemungkinan diantaranya adalah : Adanya deviasi spasial yang disebabkan perbedaan

(x,y,z) antara GPS dan IMU dan deviasi temporal yang disebabkan perbedaan waktu masing-masing alat bekerja.

#### **IV.2. Saran**

Beberapa saran yang peneliti dapat sampaikan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut adalah:

1. Perlunya pengkajian lebih lanjut dari teknologi wahana LIDAR dalam mata kuliah dan praktikum, karena selama ini banyak mahasiswa masih awam dengan teknologi LIDAR dalam dunia geodesi dan pemetaan.
2. Perlunya pengkajian lebih lanjut terkait analisa ketelitian vertikal antara titik-titik tinggi LIDAR dan titik-titik tinggi topografi dari berbagai karakteristik daerah permukaan. Perlu diperhatikan dalam teknik pengukuran, pemilihan titik *sample* yang akan dijadikan titik uji, dan interpretasi visual dari lokasi yang akan dijadikan penelitian.
3. Penelitian dapat dikembangkan tentang analisa ketelitian horisontal dari lokasi titik ujung geometri dari *point clouds* (x,y) akan dibandingkan dengan hasil pengukuran terestris dengan *software* khusus seperti LMS (*LIDAR Mapping Suite*) atau Attune.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andri Suprayogi, 2009. *Pemrosesan Data DEM*. TKD416 Model Permukaan Digital. <http://www.andreebdg.blog.undip.ac.id>
- Lidar Survey, 2013. <http://www.lidarindonesia.com/kutipan-email-raharjo/> diakses 24 November 2013.
- Ardhi Putra, Prof.Dr.Ir. Ketut Wikantika, Dr.Ir. Agung Budi Harto 2012, *Verifikasi Data Airborne Lidar (ALS) Berdasarkan Variabilitas Tutupan Lahan & Kelerengan Untuk Mendukung Efektivitas Kegiatan Pertambangan*, Pusat Penginderaan Jauh ITB, Kelompok Keahlian SIG dan Penginderaan Jauh ITB (Studi Kasus : Tambang Nikel PT WBN)
- Darpono, Agus, dkk.2013. *Panduan Penulisan Ilmiah Edisi Kedua*. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Hidayati, Iswari Nur, 2011, *Petunjuk Praktikum Kartografi Dasar (GKP 0101)*, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Janricko, Berlin, 2014. Evaluasi Ketelitian Profil Sungai Hasil Ekstrasi Data LIDAR. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta (Studi Kasus : Bantaran Sungai Kali Code, Yogyakarta)
- Ackermann, F., 1999. "Airborne Laser Scanning-present status and future expectations". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.54, hal. 64-67.
- ASPRS, 2007, *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual*, 2ndEdition, edited by David F. Maune, Bethesda, Maryland.



BMGS, 2006, *Lidar Specification: Version 0.05*, Ministry of Agriculture and Lands, Integrated land Management Bureau (ILMB), <http://archive.ilmb.gov.bc.ca/crgb/pba/trim/specs/LiDAR%20Specifications%20ver%200.5.pdf> (akses Juni2013).

Flood, M., 2004 “*ASPRS Guidelines Vertical Accuracy Reporting for LiDAR Data*”, ASPRS LiDAR Committee (PAD), May 2004, hal. 1 – 15.

Habib, A.F., Al-Durgham, M., Kersting, A. P., Quackenbush, 2008, “*Error Budget of LiDAR Systems and Quality Control of The Derived Point Cloud*”, ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B1, Beijing.

Istarno., Haryanato, B., Subaryono., Hartono., Dulbahri., Djurdani., 2011, “*Sistem LiDAR Pada Pengadaan Model Elevasi Digital Untuk Pemetaan Skala Besar*”, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, [http://lib.ugm.ac.id/digitasi/upload/922\\_D4.pdf](http://lib.ugm.ac.id/digitasi/upload/922_D4.pdf) (akses tanggal 12 november 2013)

Kartika S., 2010, “*Analisis Ketelitian Elevasi Hasil Penyiaman LiDAR Pada Daerah Beraspal*”, *Skripsi*, Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

# **LAMPIRAN**

## **I. Daftar Koordinat Sampel**

<b>KOORDINAT BM (GPS)</b>				
<b>NO</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>H</b>	<b>Desc</b>
5590	366843,782	9757569,832	34,337	NIP07
5591	366798,914	9757547,403	36,700	NIP08
5592	365570,747	9758405,152	26,950	NIP09
5593	365651,438	9758444,313	25,239	NIP10

KOORDINAT BM				
NO	E	N	H	Desc
5610	365850,035	9758203,905	24,648	MAL_094
5600	365396,035	9758339,992	24,775	MAL_05
5606	365800,752	9758059,466	24,801	MAL_016
5609	365805,961	9758081,615	25,167	MAL_080C
5607	365795,162	9758065,222	25,188	MAL_077
5608	365808,741	9758074,175	25,564	MAL_017
5595	365306,017	9757667,006	26,842	MAL_008
5603	365443,087	9757914,046	26,927	MAL_009
5612	365917,891	9757798,313	27,361	MAL_072
5601	365549,954	9758648,779	28,184	MAL_06
5599	365282,015	9758153,283	28,619	MAL_04C
5598	365274,554	9758144,844	28,783	MAL_03
5611	366057,282	9758017,734	28,888	MAL_021
5613	365939,509	9757767,820	29,297	MAL_020
5605	365695,098	9757858,594	31,699	MAL_076A
5604	365692,056	9757857,390	32,229	MAL_076B
5624	366369,421	9757538,739	33,825	MAL_073C
5625	366370,687	9757541,475	33,977	MAL_073C_EX
5629	366599,041	9757434,255	34,005	MAL_066
5615	365741,178	9757396,937	34,808	MAL_075
5622	366362,229	9757518,159	34,913	MAL_024C
5623	366362,535	9757518,748	34,913	MAL_071_EX
5614	365829,012	9757578,687	35,040	MAL_019
5617	365414,835	9757367,528	35,119	MAL_079
5597	365159,699	9757919,997	35,524	MAL_02C
5596	365160,491	9757917,971	35,689	MAL_01
5602	365607,350	9758201,791	35,895	MAL_010
5594	365212,727	9757501,328	38,516	MAL_087
5618	366355,067	9756970,120	39,274	MAL_030
5619	366516,078	9757261,054	40,066	MAL_069
5616	365630,722	9757222,771	42,512	MAL_078
5621	366252,339	9757312,663	43,837	MAL_023C
5620	366246,884	9757307,581	43,969	MAL_022
5627	366485,033	9757748,751	47,160	MAL_068
5626	366477,891	9757749,609	47,488	MAL_068_EX
5628	366778,667	9757760,215	47,811	MAL_061

KOORDINAT TOPOGRAFI				
NO	E	N	H	Desc
1	365429,744	9758544,642	27,022	52-D
2	365454,847	9758537,654	27,000	53-D
3	365477,822	9758531,735	26,982	54-D
4	365436,902	9758568,003	28,435	61-61
5	365461,825	9758561,080	27,657	62-62
6	365485,316	9758554,487	27,447	63-63
7	365509,428	9758547,893	27,570	64-64
8	365533,345	9758541,233	26,985	65-65
9	365558,334	9758534,314	25,713	66-66
10	365570,097	9758530,505	25,693	67-67
11	365443,449	9758592,867	29,523	02-Feb
12	365468,466	9758585,917	28,436	03-Mar
13	365491,842	9758579,599	28,406	04-Apr
14	365516,110	9758572,744	27,940	05-Mei
15	365540,607	9758565,763	26,927	06-Jun
16	365565,561	9758559,335	26,471	07-Jul
17	365426,450	9758624,294	30,022	K12
18	365450,843	9758617,283	29,220	16-D
19	365474,839	9758610,387	28,461	17-D
20	365498,945	9758603,912	28,456	18-D
21	365523,955	9758597,254	28,263	19-D
22	365546,740	9758590,615	27,304	20-D
23	365457,033	9758642,120	28,191	22-D
24	365481,157	9758635,272	28,208	23-D
25	365505,870	9758628,010	28,162	24-D
26	365531,013	9758621,188	28,140	25-D
27	365554,099	9758614,640	27,749	26-D
28	365572,990	9758609,359	27,524	27-D
29	365463,788	9758666,612	27,095	30-D
30	365488,880	9758659,645	28,063	31-D
31	365512,596	9758653,130	27,931	32-D
32	365532,387	9758647,541	27,790	33-D
33	365539,084	9758645,836	27,940	34-D
34	365560,699	9758638,937	27,747	35-D
35	365585,635	9758632,382	27,459	36-D
36	365472,023	9758689,859	26,901	41-D
37	365496,548	9758683,336	26,950	42-D
38	365516,141	9758678,195	27,883	K14
39	365530,398	9758675,877	27,713	D
40	365524,008	9758694,531	27,157	D
41	365517,623	9758701,461	26,863	D
42	365548,332	9758662,484	27,920	D
43	365570,196	9758637,465	28,308	D
44	365564,854	9758668,653	27,696	D

<b>KOORDINAT TOPOGRAFI</b>				
<b>NO</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>H</b>	<b>Desc</b>
46	365573,979	9758585,944	27,327	5-D
47	365584,580	9758609,085	27,627	6-D
48	365585,787	9758532,512	25,998	D
49	365567,633	9758699,632	26,258	D
50	365544,560	9758712,042	27,964	D

KOORDINAT LIDAR				
NO	E	N	H	Desc
1	365428,010	9758626,710	30,580	2001
2	365436,530	9758541,870	27,510	2018
3	365437,410	9758558,700	29,400	2025
4	365440,690	9758592,750	29,410	2035
5	365448,510	9758615,160	29,440	2061
6	365454,640	9758540,150	27,480	2075
7	365455,580	9758643,510	28,630	2083
8	365463,930	9758555,720	27,570	2098
9	365471,820	9758584,020	28,450	2129
10	365469,910	9758692,420	26,570	2133
11	365474,910	9758611,530	29,530	2147
12	365477,900	9758529,650	27,490	2149
13	365474,920	9758666,790	27,500	2151
14	365478,370	9758636,300	28,480	2162
15	365481,700	9758544,490	27,540	2164
16	365483,240	9758664,470	28,460	2184
17	365491,380	9758576,020	28,480	2196
18	365494,390	9758627,190	28,490	2210
19	365498,990	9758684,130	27,510	2235
20	365501,760	9758607,560	29,350	2237
21	365506,060	9758542,290	28,490	2242
22	365515,070	9758568,670	28,300	2272
23	365517,290	9758680,600	28,590	2293
24	365518,570	9758651,180	27,780	2294
25	365518,500	9758704,780	26,430	2297
26	365518,750	9758695,580	27,580	2298
27	365526,310	9758670,570	27,590	2317
28	365528,370	9758617,590	28,510	2320
29	365533,460	9758599,810	28,490	2338
30	365539,210	9758545,720	25,590	2346
31	365536,060	9758643,430	28,500	2351
32	365540,450	9758614,760	27,430	2359
33	365541,510	9758588,560	27,500	2361
34	365543,250	9758640,060	27,560	2372
35	365548,070	9758566,200	26,510	2378
36	365549,130	9758537,200	27,490	2379
37	365544,560	9758712,030	28,260	2386
38	365552,560	9758659,520	28,370	2405
39	365556,890	9758632,930	28,360	2412
40	365565,390	9758605,060	27,500	2443
41	365567,530	9758580,890	27,500	2445
42	365569,560	9758530,710	26,470	2446
43	365569,870	9758560,520	26,600	2453
44	365567,840	9758699,650	26,610	2461



<b>KOORDINAT LIDAR</b>				
<b>NO</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>H</b>	<b>Desc</b>
45	365573,680	9758665,970	27,500	2479
46	365574,640	9758636,380	28,390	2480
47	365575,850	9758649,610	26,500	2486
48	365581,920	9758604,700	27,500	2494
49	365586,010	9758532,450	26,520	2504
50	365583,490	9758635,260	27,510	2509

INTERPOLASI LIDAR				
NO	E	N	H	Desc
1	365454,847	9758537,654	27,494	INT 1
2	365477,822	9758531,735	27,496	INT 2
3	365436,902	9758568,003	29,505	INT 3
4	365461,825	9758561,080	27,965	INT 4
5	365485,316	9758554,487	27,860	INT 5
6	365509,428	9758547,893	28,319	INT 6
7	365533,345	9758541,233	27,228	INT 7
8	365558,334	9758534,314	27,031	INT 8
9	365443,449	9758592,867	29,335	INT 9
10	365468,466	9758585,917	28,564	INT 10
11	365491,842	9758579,599	28,571	INT 11
12	365516,110	9758572,744	28,356	INT 12
13	365540,607	9758565,763	26,849	INT 13
14	365565,561	9758559,335	26,661	INT 14
15	365450,843	9758617,283	29,353	INT 15
16	365474,839	9758610,387	29,485	INT 16
17	365498,945	9758603,912	29,231	INT 17
18	365523,955	9758597,254	28,654	INT 18
19	365546,740	9758590,615	27,500	INT 19
20	365457,033	9758642,120	28,644	INT 20
21	365481,157	9758635,272	28,481	INT 21
22	365505,870	9758628,010	28,399	INT 22
23	365531,013	9758621,188	28,327	INT 23
24	365554,099	9758614,640	27,655	INT 24
25	365572,990	9758609,359	27,626	INT 25
26	365463,788	9758666,612	27,640	INT 26
27	365488,880	9758659,645	28,371	INT 27
28	365512,596	9758653,130	27,897	INT 28
29	365532,387	9758647,541	28,293	INT 29
30	365539,084	9758645,836	28,430	INT 30
31	365560,699	9758638,937	27,950	INT 31
32	365472,023	9758689,859	26,701	INT 32
33	365496,548	9758683,336	27,478	INT 33
34	365516,141	9758678,195	28,443	INT 34
35	365530,398	9758675,877	27,587	INT 35
36	365524,008	9758694,531	27,691	INT 36
37	365517,623	9758701,461	26,773	INT 37
38	365548,332	9758662,484	28,188	INT 38
39	365570,196	9758637,465	28,099	INT 39
40	365564,854	9758668,653	27,692	INT 40
41	365577,323	9758648,406	26,858	INT 41
42	365573,979	9758585,944	27,292	INT 42
43	365585,787	9758532,512	26,500	INT 43
44	365567,633	9758699,632	26,620	INT 44

INTERPOLASI TOPOGRAFI				
NO	E	N	H	Desc
1	365454,847	9758537,654	27,000	53-D
2	365477,822	9758531,735	26,982	54-D
3	365436,902	9758568,003	28,435	61-61
4	365461,825	9758561,080	27,657	62-62
5	365485,316	9758554,487	27,447	63-63
6	365509,428	9758547,893	27,570	64-64
7	365533,345	9758541,233	26,985	65-65
8	365558,334	9758534,314	25,713	66-66
9	365443,449	9758592,867	29,523	2-Feb
10	365468,466	9758585,917	28,436	3-Mar
11	365491,842	9758579,599	28,406	4-Apr
12	365516,110	9758572,744	27,940	5-May
13	365540,607	9758565,763	26,927	6-Jun
14	365565,561	9758559,335	26,471	7-Jul
15	365450,843	9758617,283	29,220	16-D
16	365474,839	9758610,387	28,461	17-D
17	365498,945	9758603,912	28,456	18-D
18	365523,955	9758597,254	28,263	19-D
19	365546,740	9758590,615	27,304	20-D
20	365457,033	9758642,120	28,191	22-D
21	365481,157	9758635,272	28,208	23-D
22	365505,870	9758628,010	28,162	24-D
23	365531,013	9758621,188	28,140	25-D
24	365554,099	9758614,640	27,749	26-D
25	365572,990	9758609,359	27,524	27-D
26	365463,788	9758666,612	27,095	30-D
27	365488,880	9758659,645	28,063	31-D
28	365512,596	9758653,130	27,931	32-D
29	365532,387	9758647,541	27,790	33-D
30	365539,084	9758645,836	27,940	34-D
31	365560,699	9758638,937	27,747	35-D
32	365472,023	9758689,859	26,901	41-D
33	365496,548	9758683,336	26,950	42-D
34	365516,141	9758678,195	27,883	K14
35	365530,398	9758675,877	27,713	D
36	365524,008	9758694,531	27,157	D
37	365517,623	9758701,461	26,863	D
38	365548,332	9758662,484	27,920	D
39	365570,196	9758637,465	28,308	D
40	365564,854	9758668,653	27,696	D
41	365577,323	9758648,406	27,629	D
42	365573,979	9758585,944	27,327	5-D
43	365585,787	9758532,512	25,998	D
44	365567,633	9758699,632	26,258	D

## **II. Penyimpangan Ketinggian Data Topografi Dan Data LIDAR Terhadap DEM**

**PENYIMPANGAN KETINGGIAN TOPOGRAFI TERHADAP DEM**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		Δh (m)	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				TOPO (m)	DEM (m)			
1	365429,744	9758544,642	52-D	27,022	27,052	-0,030	0,030	1.96*RMSE (z) 0,018
2	365454,847	9758537,654	53-D	27,000	27,004	-0,004	0,004	
3	365477,822	9758531,735	54-D	26,982	26,988	-0,006	0,006	
4	365436,902	9758568,003	61-61	28,435	28,421	0,014	0,014	
5	365461,825	9758561,080	62-62	27,657	27,662	-0,005	0,005	
6	365485,316	9758554,487	63-63	27,447	27,448	-0,001	0,001	
7	365509,428	9758547,893	64-64	27,570	27,564	0,006	0,006	
8	365533,345	9758541,233	65-65	26,985	26,967	0,018	0,018	
9	365558,334	9758534,314	66-66	25,713	25,723	-0,010	0,010	
10	365570,097	9758530,505	67-67	25,693	25,714	-0,021	0,021	
11	365443,449	9758592,867	02-Feb	29,523	29,510	0,013	0,013	
12	365468,466	9758585,917	03-Mar	28,436	28,441	-0,005	0,005	
13	365491,842	9758579,599	04-Apr	28,406	28,398	0,008	0,008	
14	365516,110	9758572,744	05-Mei	27,940	27,940	0,000	0,000	
15	365540,607	9758565,763	06-Jun	26,927	26,931	-0,004	0,004	
16	365565,561	9758559,335	07-Jul	26,471	26,473	-0,002	0,002	
17	365426,450	9758624,294	K12	30,022	29,989	0,033	0,033	
18	365450,843	9758617,283	16-D	29,220	29,220	0,000	0,000	
19	365474,839	9758610,387	17-D	28,461	28,464	-0,003	0,003	
20	365498,945	9758603,912	18-D	28,456	28,452	0,004	0,004	
21	365523,955	9758597,254	19-D	28,263	28,255	0,008	0,008	
22	365546,740	9758590,615	20-D	27,304	27,305	-0,001	0,001	
23	365457,033	9758642,120	22-D	28,191	28,192	-0,001	0,001	
24	365481,157	9758635,272	23-D	28,208	28,206	0,002	0,002	
25	365505,870	9758628,010	24-D	28,162	28,162	0,000	0,000	
26	365531,013	9758621,188	25-D	28,140	28,136	0,004	0,004	
27	365554,099	9758614,640	26-D	27,749	27,747	0,002	0,002	
28	365572,990	9758609,359	27-D	27,524	27,525	-0,001	0,001	
29	365463,788	9758666,612	30-D	27,095	27,118	-0,023	0,023	
30	365488,880	9758659,645	31-D	28,063	28,054	0,009	0,009	
31	365512,596	9758653,130	32-D	27,931	27,932	-0,001	0,001	
32	365532,387	9758647,541	33-D	27,790	27,795	-0,005	0,005	
33	365539,084	9758645,836	34-D	27,940	27,935	0,005	0,005	
34	365560,699	9758638,937	35-D	27,747	27,751	-0,004	0,004	
35	365585,635	9758632,382	36-D	27,459	27,468	-0,009	0,009	
36	365472,023	9758689,859	41-D	26,901	26,916	-0,015	0,015	
37	365496,548	9758683,336	42-D	26,950	26,960	-0,010	0,010	
38	365516,141	9758678,195	K14	27,883	27,874	0,009	0,009	
39	365530,398	9758675,877	D	27,713	27,713	0,000	0,000	
40	365524,008	9758694,531	D	27,157	27,163	-0,006	0,006	
41	365517,623	9758701,461	D	26,863	26,926	-0,063	0,063	
42	365548,332	9758662,484	D	27,920	27,917	0,003	0,003	

**PENYIMPANGAN KETINGGIAN TOPOGRAFI TERHADAP DEM**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		$\Delta h$ (m)	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				TOPO (m)	DEM (m)			
43	365570,196	9758637,465	D	28,308	28,283	0,025	0,025	
44	365564,854	9758668,653	D	27,696	27,686	0,010	0,010	
45	365577,323	9758648,406	D	27,629	27,622	0,007	0,007	
46	365573,979	9758585,944	5-D	27,327	27,323	0,004	0,004	
47	365584,580	9758609,085	6-D	27,627	27,594	0,033	0,033	
48	365585,787	9758532,512	D	25,998	25,997	0,001	0,001	
49	365567,633	9758699,632	D	26,258	26,286	-0,028	0,028	
50	365544,560	9758712,042	D	27,964	27,942	0,022	0,022	
$\Sigma$						0,000	0,009	

PENYIMPANGAN KETINGGIAN LIDAR TERHADAP DEM								
NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		Δh	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				LIDAR (m)	DEM (m)			
1	365428,010	9758626,710	2001	30,580	30,534	0,046	0,046	1.96*RMSE (z)
2	365436,530	9758541,870	2018	27,510	27,538	-0,028	0,028	0,028
3	365437,410	9758558,700	2025	29,400	29,333	0,067	0,067	
4	365440,690	9758592,750	2035	29,410	29,417	-0,007	0,007	
5	365448,510	9758615,160	2061	29,440	29,437	0,003	0,003	
6	365454,640	9758540,150	2075	27,480	27,490	-0,010	0,010	
7	365455,580	9758643,510	2083	28,630	28,635	-0,005	0,005	
8	365463,930	9758555,720	2098	27,570	27,579	-0,009	0,009	
9	365471,820	9758584,020	2129	28,450	28,456	-0,006	0,006	
10	365469,910	9758692,420	2133	26,570	26,589	-0,019	0,019	
11	365474,910	9758611,530	2147	29,530	29,520	0,010	0,010	
12	365477,900	9758529,650	2149	27,490	27,494	-0,004	0,004	
13	365474,920	9758666,790	2151	27,500	27,503	-0,003	0,003	
14	365478,370	9758636,300	2162	28,480	28,486	-0,006	0,006	
15	365481,700	9758544,490	2164	27,540	27,549	-0,009	0,009	
16	365483,240	9758664,470	2184	28,460	28,433	0,027	0,027	
17	365491,380	9758576,020	2196	28,480	28,479	0,001	0,001	
18	365494,390	9758627,190	2210	28,490	28,495	-0,005	0,005	
19	365498,990	9758684,130	2235	27,510	27,507	0,003	0,003	
20	365501,760	9758607,560	2237	29,350	29,335	0,015	0,015	
21	365506,060	9758542,290	2242	28,490	28,472	0,018	0,018	
22	365515,070	9758568,670	2272	28,300	28,294	0,006	0,006	
23	365517,290	9758680,600	2293	28,590	28,573	0,017	0,017	
24	365518,570	9758651,180	2294	27,780	27,789	-0,009	0,009	
25	365518,500	9758704,780	2297	26,430	26,492	-0,062	0,062	
26	365518,750	9758695,580	2298	27,580	27,561	0,019	0,019	
27	365526,310	9758670,570	2317	27,590	27,595	-0,005	0,005	
28	365528,370	9758617,590	2320	28,510	28,499	0,011	0,011	
29	365533,460	9758599,810	2338	28,490	28,480	0,010	0,010	
30	365539,210	9758545,720	2346	25,590	25,628	-0,038	0,038	
31	365536,060	9758643,430	2351	28,500	28,475	0,025	0,025	
32	365540,450	9758614,760	2359	27,430	27,452	-0,022	0,022	
33	365541,510	9758588,560	2361	27,500	27,496	0,005	0,005	
34	365543,250	9758640,060	2372	27,560	27,592	-0,032	0,032	
35	365548,070	9758566,200	2378	26,510	26,518	-0,008	0,008	
36	365549,130	9758537,200	2379	27,490	27,458	0,032	0,032	
37	365544,560	9758712,030	2386	28,260	28,232	0,028	0,028	
38	365552,560	9758659,520	2405	28,370	28,358	0,012	0,012	
39	365556,890	9758632,930	2412	28,360	28,358	0,002	0,002	
40	365565,390	9758605,060	2443	27,500	27,500	0,000	0,000	
41	365567,530	9758580,890	2445	27,500	27,486	0,014	0,014	

**PENYIMPANGAN KETINGGIAN LIDAR TERHADAP DEM**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		$\Delta h$	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				LIDAR (m)	DEM (m)			
42	365569,560	9758530,710	2446	26,470	26,479	-0,009	0,009	
43	365569,870	9758560,520	2453	26,600	26,606	-0,006	0,006	
44	365567,840	9758699,650	2461	26,610	26,641	-0,031	0,031	
45	365573,680	9758665,970	2479	27,500	27,489	0,011	0,011	
46	365574,640	9758636,380	2480	28,390	28,350	0,040	0,040	
47	365575,850	9758649,610	2486	26,500	26,556	-0,056	0,056	
48	365581,920	9758604,700	2494	27,500	27,491	0,009	0,009	
49	365586,010	9758532,450	2504	26,520	26,500	0,020	0,020	
50	365583,490	9758635,260	2509	27,510	27,525	-0,015	0,015	
$\Sigma$						<b>0,001</b>	<b>0,014</b>	



### **III. Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat DTM Yang Sama Terhadap DEM**

**PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA KOORDINAT YANG SAMA ANTARA DATA TOPOGRAFI TERHADAP DEM**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		Δh (m)	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				TOPO (m)	DEM (m)			
1	365454,847	9758537,654	53-D	27,000	27,008	-0,008	0,008	1.96*RMSE (z) 0,019
2	365477,822	9758531,735	54-D	26,982	26,997	-0,015	0,015	
3	365436,902	9758568,003	61-61	28,435	28,421	0,014	0,014	
4	365461,825	9758561,080	62-62	27,657	27,661	-0,004	0,004	
5	365485,316	9758554,487	63-63	27,447	27,450	-0,003	0,003	
6	365509,428	9758547,893	64-64	27,570	27,561	0,009	0,009	
7	365533,345	9758541,233	65-65	26,985	26,976	0,009	0,009	
8	365558,334	9758534,314	66-66	25,713	25,750	-0,037	0,037	
9	365443,449	9758592,867	2-Feb	29,523	29,507	0,016	0,016	
10	365468,466	9758585,917	3-Mar	28,436	28,436	0,000	0,000	
11	365491,842	9758579,599	4-Apr	28,406	28,400	0,006	0,006	
12	365516,110	9758572,744	5-May	27,940	27,936	0,004	0,004	
13	365540,607	9758565,763	6-Jun	26,927	26,929	-0,002	0,002	
14	365565,561	9758559,335	7-Jul	26,471	26,474	-0,003	0,003	
15	365450,843	9758617,283	16-D	29,220	29,122	0,098	0,098	
16	365474,839	9758610,387	17-D	28,461	28,465	-0,004	0,004	
17	365498,945	9758603,912	18-D	28,456	28,455	0,001	0,001	
18	365523,955	9758597,254	19-D	28,263	28,257	0,006	0,006	
19	365546,740	9758590,615	20-D	27,304	27,306	-0,002	0,002	
20	365457,033	9758642,120	22-D	28,191	28,187	0,004	0,004	
21	365481,157	9758635,272	23-D	28,208	28,209	-0,001	0,001	
22	365505,870	9758628,010	24-D	28,162	28,162	0,000	0,000	
23	365531,013	9758621,188	25-D	28,140	28,138	0,002	0,002	
24	365554,099	9758614,640	26-D	27,749	27,747	0,002	0,002	
25	365572,990	9758609,359	27-D	27,524	27,519	0,005	0,005	
26	365463,788	9758666,612	30-D	27,095	27,107	-0,012	0,012	
27	365488,880	9758659,645	31-D	28,063	28,058	0,005	0,005	
28	365512,596	9758653,130	32-D	27,931	27,931	0,000	0,000	
29	365532,387	9758647,541	33-D	27,790	27,792	-0,002	0,002	
30	365539,084	9758645,836	34-D	27,940	27,938	0,002	0,002	
31	365560,699	9758638,937	35-D	27,747	27,757	-0,009	0,009	
32	365472,023	9758689,859	41-D	26,901	26,902	-0,001	0,001	
33	365496,548	9758683,336	42-D	26,950	26,962	-0,012	0,012	
34	365516,141	9758678,195	K14	27,883	27,874	0,009	0,009	
35	365530,398	9758675,877	D	27,713	27,708	0,005	0,005	
36	365524,008	9758694,531	D	27,157	27,154	0,003	0,003	
37	365517,623	9758701,461	D	26,863	26,888	-0,025	0,025	
38	365548,332	9758662,484	D	27,920	27,916	0,004	0,004	
39	365570,196	9758637,465	D	28,308	28,275	0,033	0,033	
40	365564,854	9758668,653	D	27,696	27,686	0,010	0,010	
41	365577,323	9758648,406	D	27,629	27,628	0,001	0,001	

PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA KOORDINAT YANG SAMA ANTARA DATA TOPOGRAFI TERHADAP DEM								
NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		$\Delta h$ (m)	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				TOPO (m)	DEM (m)			
42	365573,979	9758585,944	5-D	27,327	27,319	0,008	0,008	
43	365585,787	9758532,512	D	25,998	26,010	-0,012	0,012	
44	365567,633	9758699,632	D	26,258	26,275	-0,017	0,017	
$\Sigma$						0,002	0,010	

**PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA KOORDINAT YANG SAMA ANTARA DATA LIDAR TERHADAP DEM**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		Δh (m)	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				LIDAR (m)	DEM (m)			
1	365454,847	9758537,654	INT 1	27,494	27,501	-0,006	0,006	1.96*RMSE (z) 0,023
2	365477,822	9758531,735	INT 2	27,496	27,507	-0,011	0,011	
3	365436,902	9758568,003	INT 3	29,505	29,469	0,036	0,036	
4	365461,825	9758561,080	INT 4	27,965	27,975	-0,009	0,009	
5	365485,316	9758554,487	INT 5	27,860	27,863	-0,003	0,003	
6	365509,428	9758547,893	INT 6	28,319	28,300	0,019	0,019	
7	365533,345	9758541,233	INT 7	27,228	27,231	-0,003	0,003	
8	365558,334	9758534,314	INT 8	27,031	27,013	0,018	0,018	
9	365443,449	9758592,867	INT 9	29,335	29,333	0,002	0,002	
10	365468,466	9758585,917	INT 10	28,564	28,572	-0,008	0,008	
11	365491,842	9758579,599	INT 11	28,571	28,570	0,001	0,001	
12	365516,110	9758572,744	INT 12	28,356	28,350	0,005	0,005	
13	365540,607	9758565,763	INT 13	26,849	26,855	-0,006	0,006	
14	365565,561	9758559,335	INT 14	26,661	26,666	-0,006	0,006	
15	365450,843	9758617,283	INT 15	29,353	29,258	0,095	0,095	
16	365474,839	9758610,387	INT 16	29,485	29,475	0,010	0,010	
17	365498,945	9758603,912	INT 17	29,231	29,227	0,004	0,004	
18	365523,955	9758597,254	INT 18	28,654	28,648	0,006	0,006	
19	365546,740	9758590,615	INT 19	27,500	27,499	0,001	0,001	
20	365457,033	9758642,120	INT 20	28,644	28,638	0,006	0,006	
21	365481,157	9758635,272	INT 21	28,481	28,484	-0,002	0,002	
22	365505,870	9758628,010	INT 22	28,399	28,402	-0,003	0,003	
23	365531,013	9758621,188	INT 23	28,327	28,328	0,000	0,000	
24	365554,099	9758614,640	INT 24	27,655	27,657	-0,002	0,002	
25	365572,990	9758609,359	INT 25	27,626	27,592	0,035	0,035	
26	365463,788	9758666,612	INT 26	27,640	27,644	-0,004	0,004	
27	365488,880	9758659,645	INT 27	28,371	28,364	0,007	0,007	
28	365512,596	9758653,130	INT 28	27,897	27,900	-0,003	0,003	
29	365532,387	9758647,541	INT 29	28,293	28,292	0,001	0,001	
30	365539,084	9758645,836	INT 30	28,430	28,424	0,006	0,006	
31	365560,699	9758638,937	INT 31	27,950	27,951	-0,001	0,001	
32	365472,023	9758689,859	INT 32	26,701	26,706	-0,005	0,005	
33	365496,548	9758683,336	INT 33	27,478	27,478	0,000	0,000	
34	365516,141	9758678,195	INT 34	28,443	28,425	0,018	0,018	
35	365530,398	9758675,877	INT 35	27,587	27,591	-0,003	0,003	
36	365524,008	9758694,531	INT 36	27,691	27,672	0,018	0,018	
37	365517,623	9758701,461	INT 37	26,773	26,829	-0,056	0,056	
38	365548,332	9758662,484	INT 38	28,188	28,181	0,008	0,008	
39	365570,196	9758637,465	INT 39	28,099	28,062	0,036	0,036	
40	365564,854	9758668,653	INT 40	27,692	27,677	0,015	0,015	
41	365577,323	9758648,406	INT 41	26,858	26,859	-0,001	0,001	

**PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA KOORDINAT YANG SAMA ANTARA DATA LIDAR TERHADAP DEM**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		$\Delta h$ (m)	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				LIDAR (m)	DEM (m)			
42	365573,979	9758585,944	INT 42	27,292	27,286	0,006	0,006	
43	365585,787	9758532,512	INT 43	26,500	26,506	-0,006	0,006	
44	365567,633	9758699,632	INT 44	26,620	26,634	-0,014	0,014	
$\Sigma$						0,005	0,012	

**IV. Penyimpangan Ketinggian Pada Koordinat  
DTM Yang Sama Antara Data Topografi Dan Data  
LIDAR**

**PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA POSISI YANG SAMA ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN LIDAR**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		Δh	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				TOPO (m)	LIDAR (m)			
1	365454,847	9758537,654	53-D	27,000	27,494	-0,494	0,494	1.96*RMSE (z)  0,748
2	365477,822	9758531,735	54-D	26,982	27,496	-0,514	0,514	
3	365436,902	9758568,003	61-61	28,435	29,505	-1,070	1,070	
4	365461,825	9758561,080	62-62	27,657	27,965	-0,308	0,308	
5	365485,316	9758554,487	63-63	27,447	27,860	-0,413	0,413	
6	365509,428	9758547,893	64-64	27,570	28,319	-0,749	0,749	
7	365533,345	9758541,233	65-65	26,985	27,228	-0,243	0,243	
8	365558,334	9758534,314	66-66	25,713	27,031	-1,318	1,318	
9	365443,449	9758592,867	2-Feb	29,523	29,335	0,188	0,188	
10	365468,466	9758585,917	3-Mar	28,436	28,564	-0,128	0,128	
11	365491,842	9758579,599	4-Apr	28,406	28,571	-0,165	0,165	
12	365516,110	9758572,744	5-May	27,940	28,356	-0,415	0,415	
13	365540,607	9758565,763	6-Jun	26,927	26,849	0,078	0,078	
14	365565,561	9758559,335	7-Jul	26,471	26,661	-0,190	0,190	
15	365450,843	9758617,283	16-D	29,220	29,353	-0,133	0,133	
16	365474,839	9758610,387	17-D	28,461	29,485	-1,024	1,024	
17	365498,945	9758603,912	18-D	28,456	29,231	-0,775	0,775	
18	365523,955	9758597,254	19-D	28,263	28,654	-0,390	0,390	
19	365546,740	9758590,615	20-D	27,304	27,500	-0,196	0,196	
20	365457,033	9758642,120	22-D	28,191	28,644	-0,453	0,453	
21	365481,157	9758635,272	23-D	28,208	28,481	-0,273	0,273	
22	365505,870	9758628,010	24-D	28,162	28,399	-0,237	0,237	
23	365531,013	9758621,188	25-D	28,140	28,327	-0,187	0,187	
24	365554,099	9758614,640	26-D	27,749	27,655	0,094	0,094	
25	365572,990	9758609,359	27-D	27,524	27,626	-0,102	0,102	
26	365463,788	9758666,612	30-D	27,095	27,640	-0,545	0,545	
27	365488,880	9758659,645	31-D	28,063	28,371	-0,308	0,308	
28	365512,596	9758653,130	32-D	27,931	27,897	0,034	0,034	
29	365532,387	9758647,541	33-D	27,790	28,293	-0,503	0,503	
30	365539,084	9758645,836	34-D	27,940	28,430	-0,490	0,490	
31	365560,699	9758638,937	35-D	27,747	27,950	-0,203	0,203	
32	365472,023	9758689,859	41-D	26,901	26,701	0,200	0,200	
33	365496,548	9758683,336	42-D	26,950	27,478	-0,528	0,528	
34	365516,141	9758678,195	K14	27,883	28,443	-0,560	0,560	
35	365530,398	9758675,877	D	27,713	27,587	0,126	0,126	
36	365524,008	9758694,531	D	27,157	27,691	-0,534	0,534	
37	365517,623	9758701,461	D	26,863	26,773	0,090	0,090	
38	365548,332	9758662,484	D	27,920	28,188	-0,268	0,268	
39	365570,196	9758637,465	D	28,308	28,099	0,209	0,209	
40	365564,854	9758668,653	D	27,696	27,692	0,004	0,004	
41	365577,323	9758648,406	D	27,629	26,858	0,771	0,771	

**PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA POSISI YANG SAMA ANTARA DATA TOPOGRAFI DAN LIDAR**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (H)		$\Delta h$	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				TOPO (m)	LIDAR (m)			
42	365573,979	9758585,944	5-D	27,327	27,292	0,036	0,036	
43	365585,787	9758532,512	D	25,998	26,500	-0,502	0,502	
44	365567,633	9758699,632	D	26,258	26,620	-0,362	0,362	
$\Sigma$						-0,279	0,382	



**PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA POSISI YANG SAMA ANTARA DATA LIDAR DAN TOPOGRAFI**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (Height)		$\Delta h$ (m)	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				LIDAR (m)	TOPO (m)			
1	365437,410	9758558,700	2025	29,400	27,922	1,478	1,478	1.96*RMSE (z) 0,919
2	365440,690	9758592,750	2035	29,410	29,423	-0,013	0,013	
3	365448,510	9758615,160	2061	29,440	29,303	0,137	0,137	
4	365454,640	9758540,150	2075	27,480	27,091	0,389	0,389	
5	365455,580	9758643,510	2083	28,630	28,203	0,427	0,427	
6	365463,930	9758555,720	2098	27,570	27,529	0,041	0,041	
7	365471,820	9758584,020	2129	28,450	28,402	0,048	0,048	
8	365474,910	9758611,530	2147	29,530	28,456	1,074	1,074	
9	365474,920	9758666,790	2151	27,500	27,459	0,041	0,041	
10	365478,370	9758636,300	2162	28,480	28,196	0,284	0,284	
11	365481,700	9758544,490	2164	27,540	27,244	0,296	0,296	
12	365483,240	9758664,470	2184	28,460	27,780	0,680	0,680	
13	365491,380	9758576,020	2196	28,480	28,266	0,214	0,214	
14	365494,390	9758627,190	2210	28,490	28,221	0,269	0,269	
15	365498,990	9758684,130	2235	27,510	27,000	0,510	0,510	
16	365501,760	9758607,560	2237	29,350	28,394	0,957	0,957	
17	365506,060	9758542,290	2242	28,490	27,296	1,194	1,194	
18	365515,070	9758568,670	2272	28,300	27,878	0,422	0,422	
19	365517,290	9758680,600	2293	28,590	27,776	0,814	0,814	
20	365518,570	9758651,180	2294	27,780	27,890	-0,110	0,110	
21	365518,750	9758695,580	2298	27,580	27,119	0,461	0,461	
22	365526,310	9758670,570	2317	27,590	27,763	-0,173	0,173	
23	365528,370	9758617,590	2320	28,500	28,162	0,338	0,338	
24	365533,460	9758599,810	2338	28,490	27,899	0,591	0,591	
25	365539,210	9758545,720	2346	25,590	26,758	-1,168	1,168	
26	365536,060	9758643,430	2351	28,500	27,918	0,582	0,582	
27	365540,450	9758614,760	2359	27,430	27,898	-0,468	0,468	
28	365541,510	9758588,560	2361	27,500	27,437	0,063	0,063	
29	365543,250	9758640,060	2372	27,560	27,924	-0,364	0,364	
30	365548,070	9758566,200	2378	26,510	26,834	-0,324	0,324	
31	365549,130	9758537,200	2379	27,490	26,186	1,305	1,305	
32	365544,560	9758712,030	2386	28,260	27,964	0,296	0,296	
33	365552,560	9758659,520	2405	28,370	27,862	0,508	0,508	
34	365556,890	9758632,930	2412	28,360	27,782	0,578	0,578	
35	365565,390	9758605,060	2443	27,500	27,483	0,017	0,017	
36	365567,530	9758580,890	2445	27,500	27,135	0,365	0,365	
37	365569,560	9758530,710	2446	26,470	25,695	0,775	0,775	
38	365569,870	9758560,520	2453	26,600	26,563	0,038	0,038	
39	365573,680	9758665,970	2479	27,500	27,182	0,319	0,319	
40	365574,640	9758636,380	2480	28,390	28,056	0,335	0,335	
41	365575,850	9758649,610	2486	26,500	27,638	-1,138	1,138	

**PENYIMPANGAN KETINGGIAN PADA POSISI YANG SAMA ANTARA DATA LIDAR DAN TOPOGRAFI**

NO	Easting	Northing	DESC	KETINGGIAN (Height)		$\Delta h$ (m)	RMSE (m)	Std. Accuracy (z)
				LIDAR (m)	TOPO (m)			
42	365581,920	9758604,700	2494	27,500	27,564	-0,064	0,064	
43	365583,490	9758635,260	2509	27,510	27,530	-0,020	0,020	
$\Sigma$						0,279	0,469	