



TUGAS AKHIR - RG 141536

ANALISIS DATA NAVIGASI WAHANA BERGERAK DENGAN METODE *KALMAN FILTERING*

**I GEDE AWANTARA
NRP 3511 100 009**

**Dosen Pembimbing
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

ANALYSIS OF MOVING VEHICLE NAVIGATION DATA USING KALMAN FILTERING METHOD

**I GEDE AWANTARA
NRP 3511 100 009**

**Supervisor
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D**

**DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS DATA NAVIGASI WAHANA BERGERAK
DENGAN METODE *KALMAN FILTERING***

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Jurusan Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**I GEDE AWANTARA
NRP. 3511 100 009**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
NIP 1981 12 23 2005 01002



.....(Pembimbing I)

SURABAYA, JULI 2015



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS DATA NAVIGASI WAHA BERGERAK DENGAN METODE KALMAN FILTERING

Nama Mahasiswa : I Gede Awantara
NRP : 3511 100 009
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : M. Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D

Abstrak

Sitem navigasi merupakan sistem yang digunakan untuk memandu perjalanan wahana dari suatu tempat ke suatu tujuan tertentu, dengan menggunakan perangkat peta digital dan informasi posisi dengan menggunakan satelit GPS (Global Positioning System). GPS merupakan teknologi penentuan posisi yang sangat modern dan canggih. Tetapi sistem penentuan posisi dengan GPS juga bisa mengalami gangguan dan kesalahan dalam menghitung posisi di atas permukaan bumi. Gangguan dan kesalahan akan mempengaruhi ketelitian dari posisi yang dihasilkan. Untuk mengatasi gangguan dan kesalahan (noise) dalam navigasi wahana di jalan raya, sistem navigasi harus dilengkapi dengan estimator. Estimator memiliki fungsi dalam memberikan prediksi terhadap data navigasi pada wahana untuk mengetahui noise yang terjadi.

Dalam penelitian ini, estimator yang digunakan adalah Kalman Filtering. Dengan menggunakan metode kalman filter akan didapatkan nilai prerdiksi dari koordinat wahana. Dari nilai prediksi dapat ditentukan berapa kesalahan yang terjadi pada koordinat wahana akibat mengalami noise.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan perbedaan koordinat prediksi dengan koordinat pengukuran dari GPS Geodetik mencapai 0,01 meter sampai 4 meter. Terdapat beberapa koordinat yang memiliki selisih lebih dari 4 meter bahkan mencapai 80 meter karena pengukuran GPS di lapangan mengalami cycle slips dan multipath. Hasil prediksi dari

koordinat GPS handheld memberikan hasil 0,02 sampai 10 meter perbedaanya dengan koordinat pengukurannya. Hasil plotting koordinat prediksi pada citra Google Earth menunjukkan koordinat prediksi GPS Geodetik lebih sesuai dengan jalur navigasi wahana dibandingkan dengan koordinat prediksi GPS Handheld.

Kata Kunci : Citra Google Earth, GPS (Global Positioning System), Kalman Filter, Sistem Navigasi, Plotting

ANALYSIS OF MOVING VEHICLE NAVIGATION DATA USING KALMAN FILTERING METHOD

Name : I Gede Awantara
NRP : 3511 100 009
Department : Geomatics Engineering FTSP-ITS
Supervisor : M. Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D

Abstract

Navigation system is a system that used to guide vehicle from some plase to others places using digital map and information of position are based on GPS (Global Positioning Sytem Satellite).GPS is a modern and sophisticated technology used to determine position. Determining posistion using GPS sattelite can obtain noise and error in calculating position on the surface of the earth. This noise and error causing the inacurrate of posistion result.To overcome noise and error in navigation vehicle on the road, navigation system have to be equipped with estimator. Estimator has fuction in predicting navigation data from vehicle to knowing noise that hapened.

In this study, estimator to be used is the Kalman Filtering. By using the kalman filter will get prediction value of the vehicle coordinate on the road. With predicted value can be determined how error happens to coordinate due to experiencing noise.

Results from this study indicate the kalman filter coordinates predicted from GPS Geodetic coordinates measuring value of difference reaches 0.01 to 4 meters. There are several coordinates that have a difference more than 4 meters, up to 80 meters due to the coordinates of the GPS measurement experiencing cycle clips and multipath. From GPS Handheld coordinate, prediction results are 0,02 meter until 10 meter differences from measurement coordinates.The result from prediction coordinates plotting in Google Earth images showing that prediction coordinates from

GPS Geodetic is more suitable with navigation route than GPS Handheld coordinates prediction.

Keyword : Google Earth Image, GPS (Global Positioning System), Kalman Filter, Navigation System, Plotting

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan ke hadapan Ida Sang Hyang Widhi Wasa, Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya berkat karuniaNya Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Data Navigasi Wahana Bergerak Dengan Metode *Kalman Filtering***” ini dapat terselesaikan dengan baik dan tanpa halangan yang berarti.

Selama proses pembuatan Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan dukungan, baik moral maupun material, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Mokhammad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing.
2. Dr. Ir Muhammad Taufik selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
4. Orang tua penulis, I Nengah Saniasa dan Ni Wayan Sutiartini, yang selalu memberikan doa serta dorongan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Saudari Finna Sudjianto yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini
6. Teman-teman angkatan 2011 Teknik Geomatika ITS atas segala bantuannya dalam proses pembuatan tugas akhir ini.
7. Serta semua pihak yang telah mendukung yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis juga memohon maaf apabila terdapat kesalahan, karena sangat disadari, Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik saran sangat berarti untuk dijadikan bahan pembelajaran kedepannya. Akhir kata, semoga laporan ini memberikan manfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penentuan Posisi menggunakan <i>GPS</i>	7
2.1.1 Metode Penentuan Posisi.....	8
2.1.2 Kesalahan dan Bias Pada Pengukuran <i>GPS</i>	12
2.2 Sistem Navigasi.....	13
2.3 Metode <i>Kalman Filtering</i>	15
2.4 Pencocokan (<i>Matching</i>) Data <i>GPS</i> ke Dalam Peta Digital	20
2.5 Penelitian Sebelumnya	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Lokasi Penelitian	25
3.2 Data dan Peralatan.....	26
3.2.1 Data	26
3.2.2 Peralatan	26
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.4 Diagram Alir Pengolahan Data	30

BAB IV HASIL DAN ANALISIS	33
4.1 Hasil	33
4.1.1 Hasil Pengolahan Data Posisi Wahana	33
4.1.2 Hasil Pengolahan Data Posisi Wahana Dengan <i>Kalman Filtering</i>	35
4.1.3 Hasil <i>Plotting</i> Koordinat Prediksi <i>Kalman Filter</i> Pada Citra <i>Google Earth</i>	41
4.2 Analisis	43
4.2.1 Analisis Hasil Pengolahan <i>Kalman Filter</i>	43
4.2.2 Analisis Nilai Standar Deviasi	53
4.2.3 Analisis Hasil <i>Plotting</i> Koordinat Prediksi Pada Citra <i>Google Earth</i>	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Persamaan <i>Kalman Filter "Time Update"</i>	18
Tabel 2. 2	Persamaan <i>Kalman Filter "Measurement Update"</i>	18
Tabel 4. 1	Selisih Koordinat Pengukuran <i>GPS Geodetik</i> Dengan Koordinat Prediksi <i>Kalman Filter</i>	44
Tabel 4. 2	Koordinat Posisi Wahana Mengalami <i>Cycle Slips</i>	45
Tabel 4. 3	Koordinat Posisi Wahana Mengalami <i>Multipath</i>	47
Tabel 4. 4	Selisih Koordinat Pengukuran <i>GPS Handheld</i> dengan Koordinat Prediksi <i>Kalman Filter</i>	51
Tabel 4. 5	Nilai Standar Deviasi Kesalahan Prediksi <i>GPS Geodetic</i>	54
Tabel 4. 6	Nilai Standar Deviasi Kesalahan Prediksi Setelah Data <i>Error</i> Dihilangkan	54
Tabel 4. 7	Nilai Standar Deviasi Kesalahan Prediksi <i>GPS Handheld</i>	55

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penentuan Posisi Secara Absolut.....	10
Gambar 2. 2 Penentuan Posisi Secara Diferensial.....	11
Gambar 2. 3 Proses <i>Kalman Filter</i>	16
Gambar 2. 4 Proses <i>Iterasi Kalman Filter</i>	20
Gambar 2. 5 <i>Map Matching</i> Pada Peta Digital.....	22
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	25
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data.....	30
Gambar 4. 1 Hasil Pengolahan Data Posisi Wahana <i>GPS Geodetic</i>	34
Gambar 4. 2 Hasil Pengolahan Data Posisi Wahana <i>GPS Handheld</i>	35
Gambar 4. 3 Hasil Pengolahan Data GPS Geodetic Dengan <i>Kalman Filtering</i> di <i>Matlab</i> (Tanpa Menggunakan Skala)	36
Gambar 4. 4 Nilai Pengukuran (<i>observed</i>) dan Prediksi (<i>filtered</i>) Koordinat <i>GPS Geodetic</i> Hasil Pengolahan <i>Kalman Filter</i>	37
Gambar 4. 5 Hasil Prediksi Koordinat <i>GPS Geodetic</i> Yang Tidak Terekam Selama 60 Detik dan 42 Detik	38
Gambar 4. 6 Hasil Pengolahan Data <i>GPS Handheld</i> Dengan <i>Kalman Filtering</i> di <i>Matlab</i> (Tanpa Menggunakan Skala)	39
Gambar 4. 7 Nilai Pengukuran (<i>observed</i>) dan Prediksi (<i>filtered</i>) Koordinat <i>GPS Handheld</i> Hasil Pengolahan <i>Kalman Filter</i>	40
Gambar 4. 8 Hasil Prediksi Koordinat <i>GPS Handheld</i> Yang Tidak Terekam Selama 30 Detik dan 60 Detik	41
Gambar 4. 9 Hasil Plotting Koordinat Prediksi <i>GPS Geodetic</i> Pada Citra <i>Google Earth</i>	42

Gambar 4. 10 Hasil <i>Plotting</i> Koordinat Prediksi <i>GPS Handheld</i> Pada Citra <i>Google Earth</i>	43
Gambar 4. 11 Koordinat Posisi Wahana No 633-636 Mengalami <i>Cycle Slips</i>	46
Gambar 4. 12 Koordinat Posisi Wahana Nomer 645-648 Mengalami <i>Cycle Slips</i>	46
Gambar 4. 13 Koordinat Posisi Wahana Mengalami <i>Multipath</i> ..	48
Gambar 4. 14 Prediksi Koordinat <i>GPS Geodetic</i> Yang Tidak Terekam Selama 60 Detik Akibat Mengalami <i>Cycle Clips</i>	49
Gambar 4. 15 Prediksi Koordinat <i>GPS Geodetic</i> Yang Tidak Terekam Selama 42 Detik Akibat Mengalami <i>Multipath</i>	50
Gambar 4. 16 Prediksi Koordinat <i>GPS Handheld</i> Yang Tidak Terekam Selama 30 Detik	52
Gambar 4. 17 Prediksi Koordinat <i>GPS Handheld</i> Yang Tidak Terekam Selama 60 Detik	53
Gambar 4. 18 Hasil <i>Plotting</i> Koordinat Prediksi <i>GPS Geodetic</i> Pada Citra <i>Google Earth</i>	56
Gambar 4. 19 Hasil <i>Plotting</i> Koordinat Prediksi <i>GPS Handheld</i> Pada Citra <i>Google Earth</i>	57
Gambar 4. 20 Hasil <i>Plotting</i> Koordinat Prediksi <i>GPS Handheld</i> Pada Citra <i>Google Earth</i> (gambar diperbesar)	58
Gambar 4. 21 Perbandingan Hasil <i>Plotting</i> Koordinat Prediksi <i>GPS Geodetic</i> Dengan <i>GPS Handheld</i>	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem navigasi kendaraan adalah perangkat navigasi berkendaraan *modern* yang digunakan untuk memandu perjalanan dari suatu tempat ke suatu tujuan tertentu, dengan menggunakan perangkat peta digital dan informasi posisi dengan menggunakan satelit *GPS (Global Positioning System)*. Dahulu manusia menggunakan beberapa tanda alam di dalam menentukan lokasi dan arah. Pada saat berada di darat, manusia menggunakan beberapa acuan alam seperti pegunungan, pepohonan ataupun jenis bebatuan. Tanda-tanda alam di atas sifatnya tidak kekal apabila terjadi bencana alam diantaranya banjir yang mengakibatkan tanah longsor ataupun gempa bumi yang dapat menghilangkan semuanya itu. Untuk menggantikan tanda-tanda alam tersebut, maka digunakanlah kompas sebagai penentu arah. Selain dengan kompas manusia juga menggunakan rasi bintang tertentu sebagai penentu arah. Metode pengamatan bintang ini sangat memakan waktu karena harus menghitung sudut yang ada diantara bintang-bintang untuk menentukan arah bepergian di lautan yang luas (Rokim, 2004).

GPS (Global Positioning System) merupakan sistem satelit yang dapat memberikan posisi diseluruh belahan dunia. Satelit *GPS* tidak mentransmisikan informasi posisi, tetapi yang ditransmisikan satelit adalah posisi satelit dan jarak penerima *GPS* dari satelit. Informasi ini diolah alat penerima *GPS* dan hasilnya ditampilkan kepada pengguna. *GPS* dapat memberikan informasi posisi dan waktu dengan ketelitian sangat tinggi. Walaupun teknologi *GPS* sangat canggih dan mampu memberikan posisi yang cukup teliti, di dalam melakukan navigasi atau pengukuran *GPS* juga rentan mengalami gangguan (*noise*) yang akan mengganggu ketelitian pengukuran yang dihasilkan oleh *GPS*. *Noise* tersebut berasal dari sinyal satelit yang terhambat karena setiap sinyal yang ditransmisikan pada

frekuensi yang terlalu tinggi sulit untuk melewati benda padat pada perambatan sinyal. Untuk alasan ini, *receiver GPS* tidak bisa digunakan di dalam ruangan atau di luar ruangan dengan gedung-gedung tinggi, pepohonan yang lebat dan medan yang dekat dengan bangunan pemancar sinyal lainnya.

Untuk mengatasi *noise* dalam navigasi wahana di jalan raya, sistem navigasi harus dilengkapi dengan estimator. Estimator memiliki fungsi dalam memberikan prediksi terhadap data navigasi pada wahana untuk mengetahui *noise* yang terjadi. Prediksi tersebut dapat menjadi acuan dari sistem pengendali wahana sebagai masukan dari sebuah sistem pengendali. Salah satu algoritma untuk melakukan estimasi pada suatu model yang dinamik adalah menggunakan *Kalman Filtering*.

Kalman Filtering merupakan sebuah *recursive filter* yang efisien, yang mengestimasi *state* pada *linear dynamic system* dari rentetan pengukuran *noise*. Disebut *recursive* sebab untuk menghitung *state* estimasi saat ini, hanya membutuhkan data *state* estimasi satu waktu sebelumnya dan data pengukuran saat ini. Teknik *filter* ini dinamakan berdasarkan penemunya, Rudolf E. Kalman. *Kalman filter* sangat berguna terutama dalam navigasi dan lingkungan dengan *gaussian noise*.

Pada teori kendali, *kalman filtering* merupakan sebuah algoritma atau kumpulan persamaan matematika yang menghasilkan sebuah perhitungan yang efisien untuk mengestimasi *state* dari proses, dengan tujuan meminimalkan nilai *noise* atau variansi terhadap referensi lain. *Filter* ini sangat bagus dalam beberapa aspek misalnya mendukung estimasi *state* sebelumnya, saat ini dan berikutnya. Bahkan hal ini tetap dapat dilakukan meskipun model sistem yang sebenarnya tidak diketahui. *Kalman filter* juga memiliki kemampuan mengestimasi suatu keadaan berdasarkan data yang minim. *Kalman filtering* bisa disebut sebagai *estimator stokastik* yang optimal (Kusmanto, 2009).

Hasil dari pengolahan dengan metode *kalman filter* yang memberikan nilai prediksi dari koordinat navigasi akan

dibandingkan dengan koordinat pengukuran untuk mengetahui besar nilai perbedaan antara koordinat pengukuran dengan koordinat prediksi. Dari nilai perbedaan koordinat pengukuran dan prediksi dapat diketahui titik mana yang mengalami gangguan atau *noise* ketika melakukan navigasi di jalan. Untuk mengetahui ketelitian koordinat hasil prediksi dilakukan *plotting* di citra *Google Earth* yang bergeoreferensi.

1.2 Rumusan Permasalahan

Rumusan permasalahan yang dibahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana mendapatkan nilai prediksi dan nilai pengukuran dari data navigasi wahana bergerak dengan menggunakan metode *kalman filtering*.
- b. Bagaimana melakukan analisis terhadap nilai prediksi dan nilai pengukuran dari data navigasi wahana bergerak dengan menggunakan metode *kalman filtering*.
- c. Bagaimana mengetahui nilai prediksi dari koordinat navigasi wahana yang tidak terekam oleh alat *GPS* dengan menggunakan metode *kalman filter*.
- d. Bagaimana mengetahui kesesuaian koordinat prediksi *kalman filter* terhadap jalur navigasi wahana di lapangan dari hasil *plotting* pada citra.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Wahana bergerak yang dijadikan objek penelitian adalah mobil yang dilengkapi dengan sistem navigasi *GPS Geodetic* dan kendaraan roda dua yang dilengkapi dengan *GPS Handheld*.
- b. Data navigasi hanya berupa data posisi horisontal (x,y) dari wahana bergerak.
- c. Hasil akhir dari penelitian ini adalah nilai prediksi dan nilai pengukuran dari data navigasi wahana bergerak dan

juga nilai prediksi dari data navigasi wahana yang tidak terekam atau hilang beserta nilai *noise* yang terjadi yang akan diketahui kesesuaiannya dengan jalur navigasi wahana di lapangan dengan cara *plotting* pada citra *Google Earth* yang bergeoreferensi.

- d. Kesimpulan dari penelitian ini adalah mengenai analisis terhadap perbedaan nilai prediksi dan pengukuran dari koordinat navigasi wahana, analisis mengenai nilai prediksi terhadap koordinat wahana yang tidak terekam dan analisis mengenai kesesuaian koordinat prediksi terhadap jalur navigasi wahana di lapangan berdasarkan hasil *plotting* pada citra *Google Earth* yang bergeoreferensi

1.4 Tujuan

Tujuan Tugas Akhir ini adalah:

- a. Mengetahui nilai prediksi dan nilai pengukuran dari data navigasi wahana bergerak dengan menggunakan metode *kalman filtering*.
- b. Mengetahui besarnya nilai *noise* yang terjadi dari data navigasi wahana bergerak.
- c. Mengetahui nilai prediksi dari koordinat navigasi wahana yang tidak terekam oleh alat *GPS* dengan menggunakan metode *kalman filter*.
- d. Mengetahui kesesuaian koordinat prediksi *kalman filter* terhadap jalur navigasi wahana di lapangan dari citra *Google Earth* yang bergeoreferensi.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui perbedaan nilai prediksi dan pengukuran dari data navigasi wahana bergerak yang digunakan untuk mendeteksi *noise* yang terjadi pada wahana ketika melakukan navigasi. Mengetahui kemampuan *kalman filter* untuk melakukan prediksi terhadap data yang hilang pada data navigasi Mengetahui

kesesuaian koordinat prediksi *kalman filter* terhadap jalur navigasi wahana di lapangan dari citra *Google Earth* yang bergeoreferensi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penentuan Posisi menggunakan GPS

GPS (Global Positioning System) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, bagi banyak orang secara simultan (Wicaksono, 2009). Saat ini *GPS* sudah banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti. *GPS* dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter sampai dengan puluhan meter.

Beberapa kemampuan *GPS* antara lain dapat memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan waktu secara cepat, akurat, murah, dimana saja di bumi ini. Hal yang perlu dicatat bahwa *GPS* adalah satu-satunya sistem navigasi ataupun sistem penentuan posisi dalam beberapa abad ini yang memiliki kemampuan handal seperti itu. Ketelitian dari *GPS* dapat mencapai beberapa mm untuk ketelitian posisinya, beberapa cm/s untuk ketelitian kecepatannya dan beberapa nanodetik untuk ketelitian waktunya. Ketelitian posisi yang diperoleh akan tergantung pada beberapa faktor yaitu metode penentuan posisi, geometri satelit, tingkat ketelitian data, dan metode pengolahan datanya.

Pada dasarnya konsep penentuan posisi dengan *GPS* adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit *GPS* yang koordinatnya telah diketahui. Posisi yang diberikan oleh *GPS* adalah posisi 3 dimensi (x, y, z atau ϕ, λ, h) yang dinyatakan dalam datum *WGS (World Geodetic System)* 1984, sedangkan tinggi yang diperoleh adalah tinggi ellipsoid. Dengan *GPS*, titik yang akan ditentukan posisinya dapat diam (*static positioning*) ataupun bergerak (*kinematic positioning*). Posisi titik dapat ditentukan

dengan menggunakan satu *receiver GPS* terhadap pusat bumi dengan menggunakan metode *absolute (point) positioning*, ataupun terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (*station referensi*) dengan menggunakan metode *differential (relative) positioning* yang menggunakan minimal dua *receiver GPS*. Disamping itu, *GPS* dapat memberikan posisi secara instan (*real-time*) ataupun sesudah pengamatan setelah data pengamatannya diproses secara lebih ekstensif (*post processing*) yang biasanya dilakukan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik (Abidin, 2006).

2.1.1 Metode Penentuan Posisi

Menurut Abidin (2006), secara garis besar penentuan posisi dengan *GPS* ini dibagi menjadi dua metode yaitu metode absolut dan metode relatif.

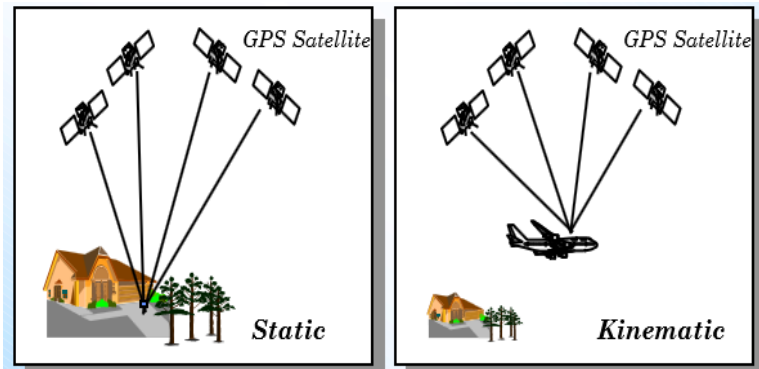
a. Metode Absolut

Penentuan posisi secara absolut (*absolute positioning*) adalah metode penentuan posisi yang paling mendasar dari *GPS*. Bahkan dapat dikatakan bahwa metode ini adalah metode penentuan posisi dengan *GPS* yang direncanakan pada awalnya oleh pihak militer Amerika untuk memberikan pelayanan navigasi terutama bagi personil dan wahana militer mereka. Berkaitan dengan penentuan posisi secara absolut, ada beberapa catatan yang perlu diperhatikan yaitu:

- Metode ini kadang dinamakan juga metode *point positioning*, karena penentuan posisi dapat dilakukan per titik tanpa tergantung pada titik lainnya.
- Posisi ditentukan dalam sistem *WGS-84* terhadap pusat masa bumi.
- Prinsip penentuan posisi adalah reseksi dengan jarak ke beberapa satelit secara simultan.
- Untuk penentuan posisi hanya memerlukan satu *receiver GPS*, dan tipe *receiver* yang umum

digunakan untuk keperluan ini adalah tipe navigasi atau kadang dinamakan dengan tipe genggam (*handheld*).

- Titik yang ditentukan posisinya bisa dalam keadaan diam (moda statik) maupun dalam keadaan bergerak (moda kinematik).
- Biasanya menggunakan data *pseudorange*. Perlu juga dicatat bahwa dalam moda statik, meskipun jarang sekali dilakukan, data fase sebenarnya juga bisa digunakan yaitu dengan mengestimasi ambiguitas fase bersama-sama dengan posisi.
- Ketelitian posisi yang diperoleh sangat bergantung pada tingkat ketelitian data serta geometri satelit.
- Metode ini tidak dimasukkan untuk penentuan posisi yang teliti.
- Aplikasi utama dari metode ini adalah untuk keperluan navigasi atau aplikasi-aplikasi lain yang memerlukan informasi posisi yang tidak perlu terlalu teliti tetapi tersedia secara instan (*real time*), seperti untuk keperluan *reconnaissance* dan *ground truthing*.



Gambar 2. 1 Penentuan Posisi Secara Absolut
(Abidin, 2006)

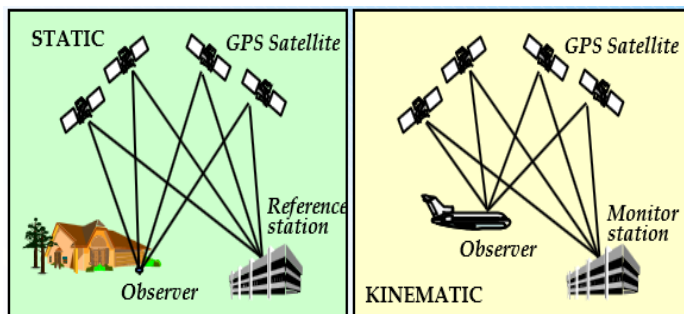
b. Metode Diferensial

Ketelitian penentuan posisi absolut dapat ditingkatkan dengan menggunakan penentuan posisi secara diferensial, posisi suatu titik ditentukan relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (*reference station*). Pada metode diferensial, yang juga sering dinamakan penentuan posisi secara relatif, dengan mengurangkan data yang diamati oleh dua *receiver GPS* pada waktu bersamaan, maka beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieleminasi atau di reduksi. Pengeleminasian dan pereduksian ini akan meningkatkan akurasi dan presisi data, dan selanjutnya akan meningkatkan tingkat akurasi dan presisi posisi yang diperoleh.

Perlu dicatat efektifitas dari proses pengurangan tersebut sangat tergantung pada jarak antar stasiun referensi dengan titik yang akan ditentukan posisinya. Dalam hal ini, semakin pendek jarak maka akan semakin efektif dampak dari pengurangan data dan sebaliknya. Perlu ditekankan bahwa penentuan posisi secara

diferensial adalah metode penentuan posisi yang harus digunakan untuk mendapatkan ketelitian posisi yang relatif tinggi. Ketelitian posisi yang bisa diberikan oleh metode penentuan posisi secara diferensial berkisar pada level mm dengan data fase dan berkisar 1-3 meter dengan data *pseudorange*.

Penentuan posisi secara diferensial dapat diaplikasikan secara statik maupun kinematik dengan menggunakan data *pseudorange* dan atau data fase. Aplikasi utama dari metode penentuan posisi secara diferensial adalah survei pemetaan, survei geodesi, serta navigasi berketelitian menengah dan tinggi. Metode survei *GPS* yang banyak diaplikasikan saat ini antara lain seperti metode statik, metode statik singkat, metode *pseudo*-kinematik, dan *stop and go*. Dalam penentuan posisi secara diferensial ada beberapa aplikasi yang menuntut aplikasi secara instan (*real time*). Untuk melayani aplikasi tersebut saat ini tersedia dua sistem yang umum dikenal dengan nama *DGPS* (*Differential GPS*) dan *RTK* (*Real Time Kinematik*) (Abidin, 2006).



Gambar 2. 2 Penentuan Posisi Secara Diferensial
(Abidin, 2006)

2.1.2 Kesalahan dan Bias Pada Pengukuran GPS

Dalam Abidin (2006) sinyal satelit akan mengalami beberapa kesalahan dan bias ketika melakukan pengambilan data *GPS*. Adapun kesalahan dan bias pada dasarnya dikelompokkan berdasarkan komponennya, yakni pada:

- a. Satelit, seperti kesalahan ephemeris, jam satelit dan *selective availability* (SA).
- b. Medium propagasi sinyal, seperti bias ionosfer dan bias troposfer.
- c. *Receiver GPS*, seperti kesalahan jam *receiver*, kesalahan pada antenna *receiver* dan *noise*.
- d. Data pengamatan, ambiguitas phase dan cycle slips.
- e. Lingkungan sekitar *receiver GPS*, seperti *multipath* dan *imaging*

Kesalahan dan bias *GPS* tersebut harus diperhatikan dan dihitung, karena kesalahan dan bias tersebut akan mempengaruhi ketelitian informasi (posisi, kecepatan, percepatan, dan waktu) yang diperoleh. Beberapa kesalahan yang sering terjadi pada saat pengambilan data *GPS* (Abidin, 2006) :

a. *Cycle slip*

Cycle slip adalah kesalahan yang menunjukkan ketidak-kontinuan dari fase gelombang pembawa yang diamati dalam jumlah gelombang penuh, karena sinyal ke *receiver* terputus pada saat pengamatan sinyal. 24 Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya *Cycle slip* pada saat pengamatan, antara lain:

- Mematikan dan menghidupkan *receiver* dengan sengaja.
- Terhalangnya sinyal *GPS* akibat terhalang pohon atau bangunan.
- Pengaruh aktivitas ionosfer dan *multipath*.

- Adanya kerusakan di dalam *receiver* sehingga tidak dapat menerima gelombang secara penuh.

b. *Multipath*

Multipath merupakan fenomena dimana sinyal dari satelit tiba di antenna *GPS* melalui dua atau lebih lintasan yang berbeda. Dalam hal ini satu sinyal merupakan sinyal langsung dari satelit ke antena, sedangkan yang lainnya merupakan sinyal tidak langsung yang dipantulkan oleh benda disekitar antena *receiver GPS*. Kesalahan ini mempengaruhi hasil ukuran *pseudorange* dan *phase*. Adapun pendekatan yang dapat dilakukan untuk mereduksi kesalahan *multipath*, yaitu :

- Menghindari lingkungan pengamatan yang reflektif
- Menggunakan antena *GPS* yang baik dan tepat
- Menggunakan bidang dasar antena penangkap sinyal yang berguna untuk menahan sinyal pantulan yang datang dari bawah horizon antena 25
- Tidak mengamati satelit pada wilayah yang berelevasi rendah.
- Melakukan pengamatan yang relatif panjang dan kemudian reratakan data pengamatan.

2.2 Sistem Navigasi

Manfaat yang paling dasar dari sistem navigasi kendaraan darat adalah untuk secara akurat mengidentifikasi lokasi dari kendaraan. Dalam banyak sistem navigasi kendaraan darat yang ada, biasanya menggunakan teknologi komputer *on-board* yang terus mengumpulkan data dari sensor yang dipasang di dalam kendaraan. Komputer menggunakan data sensor untuk menghitung lokasi kendaraan dan menyampaikan lokasi ini ke pengemudi

dengan cara penggunaan alat komunikasi elektronik. Contoh sensor posisi yang mungkin digunakan dalam sistem navigasi kendaraan darat adalah *GPS*, giroskop, dan kompas elektronik. Meskipun tujuan *GPS* menyediakan penggunaanya dengan kemampuan untuk menghitung lokasi dalam tiga dimensi ruang, secara umum sistem navigasi kendaraan darat tidak bisa tergantung pada posisi kendaraan dari *receiver GPS* saja, tetapi juga memerlukan alat bantu navigasi lainnya (Junus, 2012).

Untuk menghitung lokasi di tiga dimensi ruang, penerima *GPS* harus mampu menangkap sinyal setidaknya dari empat satelit yang berbeda. Selain itu, penerima harus mempertahankan sinyal pada masing-masing satelit untuk jangka waktu yang cukup lama untuk menerima informasi yang dikodekan dalam transmisi. Sinyal satelit dapat terhambat karena setiap sinyal yang ditransmisikan pada frekuensi yang terlalu tinggi sulit untuk melewati benda padat pada perambatan sinyal. Untuk alasan ini, *receiver GPS* tidak bias digunakan di dalam ruangan atau di luar ruangan dengan gedung-gedung tinggi, dedaunan lebat dan medan yang dekat dengan bangunan pemancar sinyal lainnya.

Koreksi posisi *GPS* yang lebih akurat dan kadang-kadang tidak tersedia sama sekali, banyak sistem navigasi kendaraan darat menggunakan alat bantu navigasi lainnya dalam integrasi dengan posisi *GPS* untuk meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Integrasi ini biasanya mencakup beberapa kombinasi sensor, misalnya, giroskop, kompas, odometer, inklinometer, atau akselerometer (Rokim, 2004). Seluruh sensor selain *GPS* yang digunakan untuk posisi kendaraan secara kolektif disebut sebagai unit *dead reckoning*. Sensor *dead reckoning* umumnya tidak dapat digunakan sendiri untuk posisi kendaraan secara akurat untuk jangka waktu yang lama karena sensor *dead reckoning*, menurut definisi tidak mengukur posisi absolut (Abbot dan Powell, 1999). Tanpa pengukuran sesekali posisi absolut, kesalahan dalam estimasi posisi dihitung dengan menggunakan sensor *dead reckoning* saja. Sensor *dead reckoning* yang digunakan secara akurat mengukur perubahan posisi kendaraan selama periode

waktu yang singkat dan dapat digunakan sendiri (untuk periode waktu yang singkat) jika koreksi posisi *GPS* tidak tersedia.

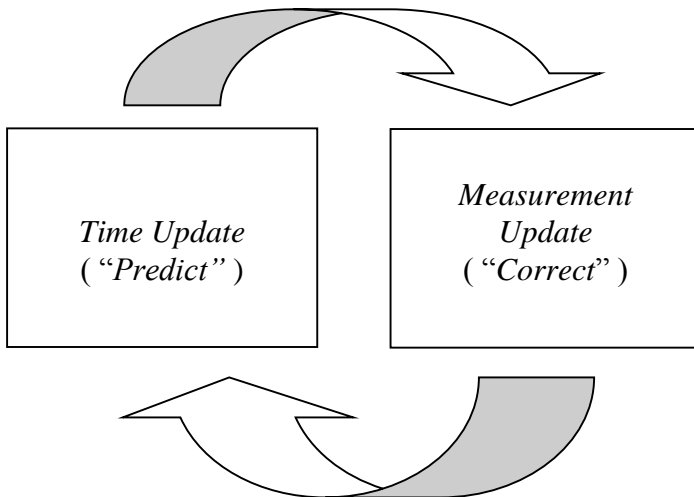
Sifat dari kesalahan dalam koreksi posisi *GPS* agak berbeda dibandingkan dengan kesalahan dalam *dead reckoning output sensor*. Total kesalahan dalam posisi *GPS* yang diberikan berisi sejumlah komponen yang masing-masing berasal dari sumber kesalahan yang berbeda. Beberapa komponen *error* berkorelasi selama jangka waktu yang lama, sementara yang lain secara acak dan tidak berkorelasi dari satu posisi *fix* ke yang berikutnya. Oleh karena itu, kesalahan yang muncul di koreksi posisi *GPS* dan output dari sensor *dead reckoning* saling melengkapi (Abbot dan Powell,1999). Integrasi yang tepat dari koreksi posisi *GPS* dengan data sensor *dead reckoning* dapat menghasilkan kinerja posisi yang lebih baik.

2.3 Metode Kalman Filtering

Kalman filter merupakan sebuah *recursive filter* yang efisien, yang mengestimasi *state* pada *linear dynamic system* dari rentetan pengukuran *noise*. Disebut *recursive* sebab untuk menghitung *state* estimasi saat ini, hanya membutuhkan data *state* estimasi satu waktu sebelumnya dan data pengukuran saat ini. Teknik *filter* ini dinamakan berdasarkan penemunya, Rudolf E. Kalman. *Kalman filter* sangat berguna terutama dalam navigasi dan lingkungan dengan *gaussian noise*.

Pada teori kendali, *kalman filter* merupakan sebuah algoritma atau kumpulan persamaan matematika yang menghasilkan sebuah perhitungan yang efisien untuk mengestimasi *state* dari proses, dengan tujuan meminimalkan nilai *noise* atau variansi terhadap referensi lain. *Filter* ini sangat bagus dalam beberapa aspek misalnya mendukung estimasi *state* sebelumnya, saat ini dan berikutnya. Bahkan hal ini tetap dapat dilakukan meskipun model sistem yang sebenarnya tidak diketahui. Kalman filter juga disebut estimator stokastik yang optimal (Kusmanto, 2009).

Kalman filter akan mengestimasi proses dengan menggunakan bentuk pengendali *feedback* : *filter* mengestimasi *state* proses pada beberapa waktu dan kemudian mendapatkan umpan balik (*feedback*) dalam bentuk pengukuran (*noise*). Oleh karena itu , persamaan *kalman filter* dibagi menjadi dua kelompok : persamaan *time update* dan persamaan *measurement update*. *Time update* dapat disebut juga sebagai proses *predict*, yaitu menggunakan estimasi *state* dari satu waktu sebelumnya untuk mendapatkan sebuah estimasi *state* pada saat ini. Sedangkan *measurement update* disebut juga sebagai proses *correct*, yaitu informasi pengukuran pada saat ini digunakan untuk memperbaiki prediksi, dengan harapan akan didapatkan *state* estimasi yang lebih akurat. Sehingga dalam aplikasinya, algoritma *kalman filter* akan menggunakan proses berulang dari *predict* dan *correct* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 (Welch dan Bishop, 2006).



Gambar 2. 3 Proses *Kalman Filter*
(Welch dan Bishop, 2006)

Menurut Grewal dan Andrews (2001), berikut ini tahapan perhitungan *kalman filter* :

a. Tahap pertama “*Built a Model*”

Tahap pertama ini adalah tahapan yang paling penting dalam proses *kalman filter* karena pada tahap ini menunjukkan apakah *kalman filter* bisa memproses dan menyelesaikan permasalahan yang ada. Berikut ini adalah persamaan dari proses awal *kalman filtering*.

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k \quad (2.1)$$

$$z_k = Hx_k \quad (2.2)$$

x_k adalah nilai koordinat yang akan dihitung dengan menggunakan *linear stochastic equation* seperti persamaan 2.1. Persamaan 2.2 adalah persamaan yang menghitung nilai pengukuran dari model (Z_k). A,B, dan H adalah matriks dari model yang dibuat (dalam penelitian ini adalah persamaan posisi dan kecepatan mobil).

b. Tahap kedua “*Start the Process*”

Melakukan proses perhitungan. Jika model bisa diproses dan diselesaikan dengan *kalman filter* maka di tahap kedua akan ditentukan beberapa parameter dari model. Dalam proses perhitungan *kalman filter* ada 2 persamaan utama yaitu persamaan *Time Update (Predict)* dan persamaan *Measurement Update (Correct)* yang ditunjukkan pada tabel 2.1 dan tabel 2.2

Tabel 2. 1 Persamaan *Kalman Filter "Time Update"*
(Welch dan Bishop, 2006)

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (2.3)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad (2.4)$$

Tabel 2. 2 Persamaan *Kalman Filter "Measurement Update"*
(Welch dan Bishop, 2006)

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (2.5)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (2.6)$$

$$P_k = (I - K_k H)P_k^- \quad (2.7)$$

Selama menghitung *measurement update* adalah menghitung *Kalman Gain* (K_k). Langkah berikutnya adalah proses perhitungan untuk mendapatkan nilai *actual measurement* (Z_k). Dan kemudian untuk menghasilkan estimasi (\hat{x}_k) dengan menggabungkan perhitungan menggunakan persamaan (2.6). Langkah terakhir adalah mendapatkan estimasi kovarian (P_k).

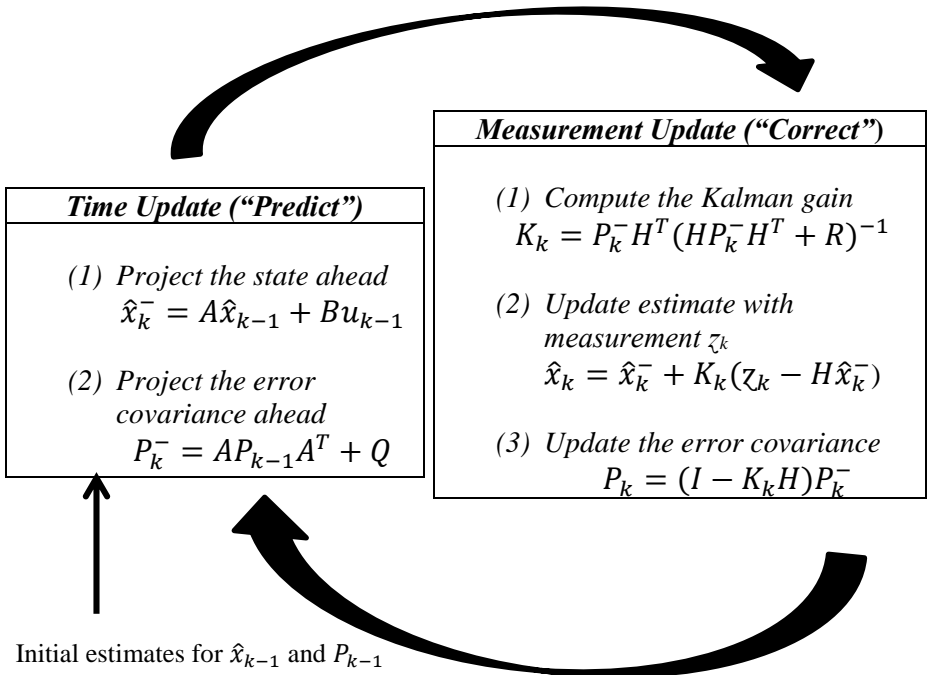
Setelah perhitungan pada proses *Measurement Update* selesai maka dilanjutkan dengan perhitungan pada proses *Time Update*. Proses diulangi dengan estimasi sebelumnya yang digunakan untuk membuat estimasi (\hat{x}_k^-) baru. Sifat *recursive* adalah satu fitur yang paling menarik dari *kalman filter*, sifat *recursive* membuat implementasi praktis menjadi lebih layak yang didesain untuk mengoperasikan data secara langsung untuk setiap estimasi (Welch dan Bishop, 2006). Pada persamaan tabel 2.1 dan tabel 2.2 terdapat variabel Q yang merupakan *process noise*

covariance dan R yang merupakan *measurement noise covariance*. Dalam implementasi sebenarnya dari *filter* ini, R dan Q biasanya diukur terlebih dahulu untuk operasi *filter*. Penentuan parameter ini sangat tergantung dari model sistem yang digunakan. Perlu digaris bawahi bahwa R dan Q sebaiknya adalah nilai yang konstan, dengan kondisi konstan *estimation error covariance* (P_k) dan *Kalman Gain* akan stabil lebih cepat dan akan tetap konstan.

Selain itu ketika memulai proses *kalman filter* diperlukan initial condition dari P_{k-1} dan \hat{x}_{k-1} atau disebut juga P_0 dan \hat{x}_0 . Penentuan *initial condition* ini juga berdasarkan sistem yang digunakan. \hat{x}_0 biasanya didapatkan dengan memperkirakan *state* sistem pada kadaan awal, sedangkan P_0 sebaiknya bernilai tidak sama dengan nol, sebab apabila $P_0 = 0$ akan menyebabkan *filter* menginisialisasi dan selalu percaya bahwa $\hat{x}_k = \hat{x}_0$. Penentuan P_0 tidak begitu penting karena *filter* akan menyesuaikan dengan sendirinya (Welch dan Bishop, 2006).

c. Tahap ketiga “*Iterate*”

Setelah mengumpulkan semua informasi yang dibutuhkan dan memulai proses, tahap selanjutnya adalah melakukan iterasi melalui estimasi. Perlu diingat bahwa estimasi sebelumnya akan menjadi masukan untuk kondisi saat ini. Proses iterasi *kalman filter* ditunjukkan pada gambar 2.4



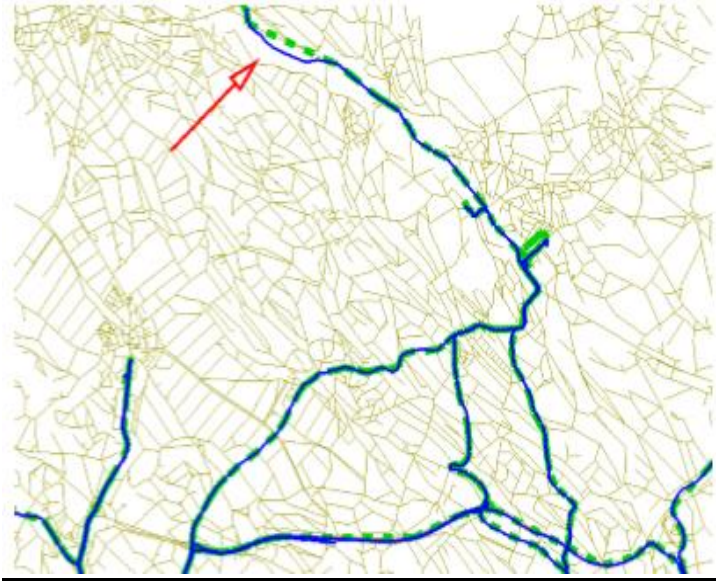
Gambar 2. 4 Proses Iterasi Kalman Filter
(Welch dan Bishop, 2006)

2.4 Pencocokan (Matching) Data GPS ke Dalam Peta Digital

Dalam beberapa tahun terakhir, data dari survei berbasis GPS menjadi semakin penting karena pemodel transportasi memerlukan informasi yang lebih akurat dan memiliki ketelitian tinggi. Pencocokan peta (*map matching*) adalah proses menyelaraskan posisi yang diamati pengguna dengan jaringan jalan pada peta digital. *Map matching* merupakan langkah dasar dalam *pre-processing* dalam banyak aplikasi seperti analisis arus lalu lintas, manajemen pergerakan objek, dan petunjuk arah mengemudi (Li dkk., 2013).

Map matching adalah teknik dalam sistem informasi geografis (SIG) yang mengaitkan posisi kendaraan ke jaringan jalan pada peta digital. Algoritma *map matching* dapat dibagi dalam *on-line* dan *off-line*. Algoritma *on-line* mengaitkan posisi selama proses perekaman ke jaringan jalan. Algoritma *off-line* digunakan setelah data dicatat dan kemudian disesuaikan dengan jaringan jalan. Algoritma *off-line* hanya dapat mengandalkan poin yang telah direkam. Hal ini akan mempengaruhi akurasi. Di sisi lain, aplikasi *off-line* dapat mempertimbangkan semua poin dan memungkinkan untuk menampilkan hasil lebih lambat dalam mendukung akurasi. Data posisi atau navigasi kendaraan merupakan sumber daya penting untuk aplikasi yang berhubungan dengan penilaian lalu lintas dan prediksi. Pemanfaatannya sangat tergantung pada peningkatan akurasi data dan hubungannya dengan jaringan jalan yang didasari oleh algoritma *map matching*.

Map Matching juga dapat dianggap sebagai proses validasi peta digital. Validasi adalah suatu tindakan pembuktian dengan menggunakan sistem, mekanisme ataupun data yang dianggap benar menurut bahan bukti yang ada, logika berpikir, atau kekuatan hukum (Brakatsoulas dkk., 2005). Data yang digunakan untuk melakukan validasi terhadap peta digital adalah data *GPS* yang tentunya memiliki ketelitian tinggi dalam menentukan posisi di lapangan. Contoh *map matching* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 *Map Matching* Pada Peta Digital
(Marchal, Hackney, dan Axhausen, 2004)

2.5 Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kumar (2004), dengan judul “*Integration of Inertial Navigation System and Global Positioning System Using Kalman Filtering*” navigasi inersia diintegrasikan dengan alat bantu navigasi seperti *GPS* akan mendapatkan peningkatan kinerja referensi inersia. Karena *GPS* yang digunakan untuk membantu *INS* juga mengalami kesalahan, maka digunakan *Kalman Filter* untuk membantu dalam memperkirakan kesalahan dalam *INS* dan dengan demikian akan memperbarui posisi untuk meningkatkan akurasi.

Dalam penelitian yang berjudul “*Rancang Bangun Sistem Navigasi Inersia Dengan Kalman Filter Pada Mikrokontroler AVR*” yang dibuat oleh Kusmanto (2009), dibuat dan dirancang sebuah sistem navigasi inersia untuk mendapatkan posisi dan

kemiringan dengan menggunakan *sensor rate-gyroscope*, *accelerometer* dan mikrokontroler. Sistem navigasi merupakan komponen yang paling penting pada kendaraan di udara, air dan luar angkasa. Karena sistem navigasi adalah komponen yang penting maka ketelitian dari sistem ini harus diperhatikan maka dilakukan koreksi terhadap sensor yang digunakan. Terutama pada sensor *accelerometer* yang dipengaruhi oleh gravitasi.

Teknik *map matching* digunakan dalam penelitian yang berjudul *Map Matching for Low Sampling Rate GPS Trajectories* yang dilakukan oleh Yin Lou dkk. (2011), mendapatkan bahwa data *GPS* menjadi kurang efektif untuk poin sampel tingkat rendah sebagai ketidakpastian dalam data. Dalam penelitian ini diusulkan sebuah algoritma *map matching* global yang baru yang disebut *ST-Matching* untuk sampel tingkat rendah pada lintasan *GPS*. *ST-Matching* memperhatikan struktur geometris dan topologi spasial jaringan jalan dan kendala temporal atau kecepatan lintasan. Berdasarkan analisis *spatio-temporal*, grafik dibuat dari urutan jalur terbaik yang cocok untuk diidentifikasi.

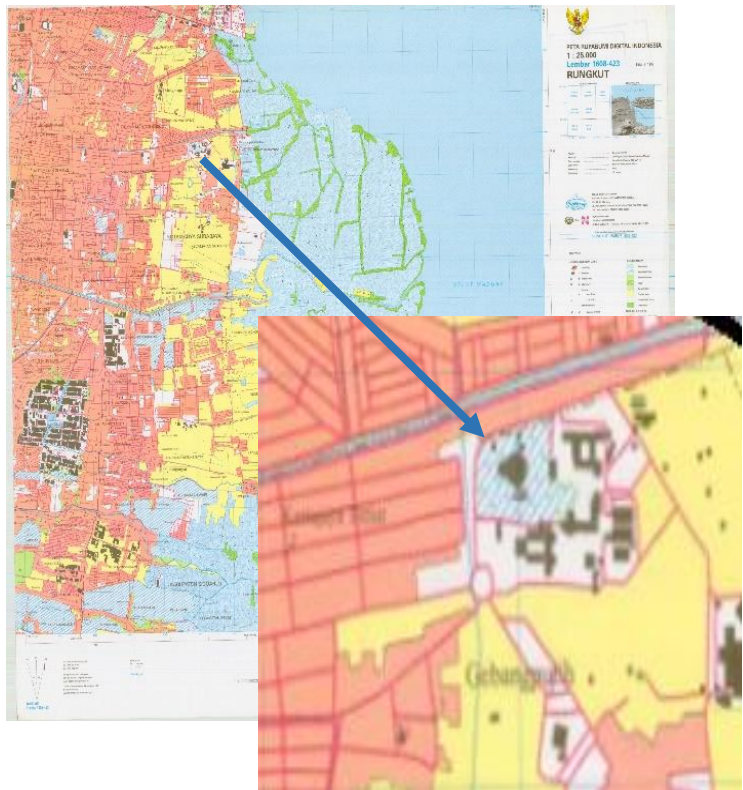
Penelitian yang akan dilakukan adalah mengenai “*Analisa Data Navigasi Wahana Bergerak Dengan Metode Kalman Filtering*” yang akan memberikan analisa data navigasi dari *GPS*. Data navigasi tersebut akan diolah menggunakan metode *kalman filter* untuk mendapatkan nilai prediksi dan nilai pengukuran beserta berapa besar nilai *error* yang didapatkan. Data navigasi wahana yang diolah dengan *kalman filter* kemudian akan diuji ketelitiannya menggunakan citra *Google Earth* yang bergeoreferensi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini berada di Jalan Raya sekitar Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berada di Kecamatan Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian
(Sumber : www.big.go.id)

3.2 Data dan Peralatan

Data dan Peralatan yang digunakan dalam kegiatan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Data Posisi (*GPS*) Wahana Bergerak
Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data navigasi dari wahana yang didapat dari pengukuran *GPS* untuk mengetahui posisi dari wahana ketika bergerak di jalan raya.
- b. Data Citra
Data citra yang digunakan adalah data citra *Google Earth* bergeoreferensi yang digunakan untuk mengetahui kesesuaian koordinat prediksi *kalman filter* dengan jalur navigasi wahana di lapangan.

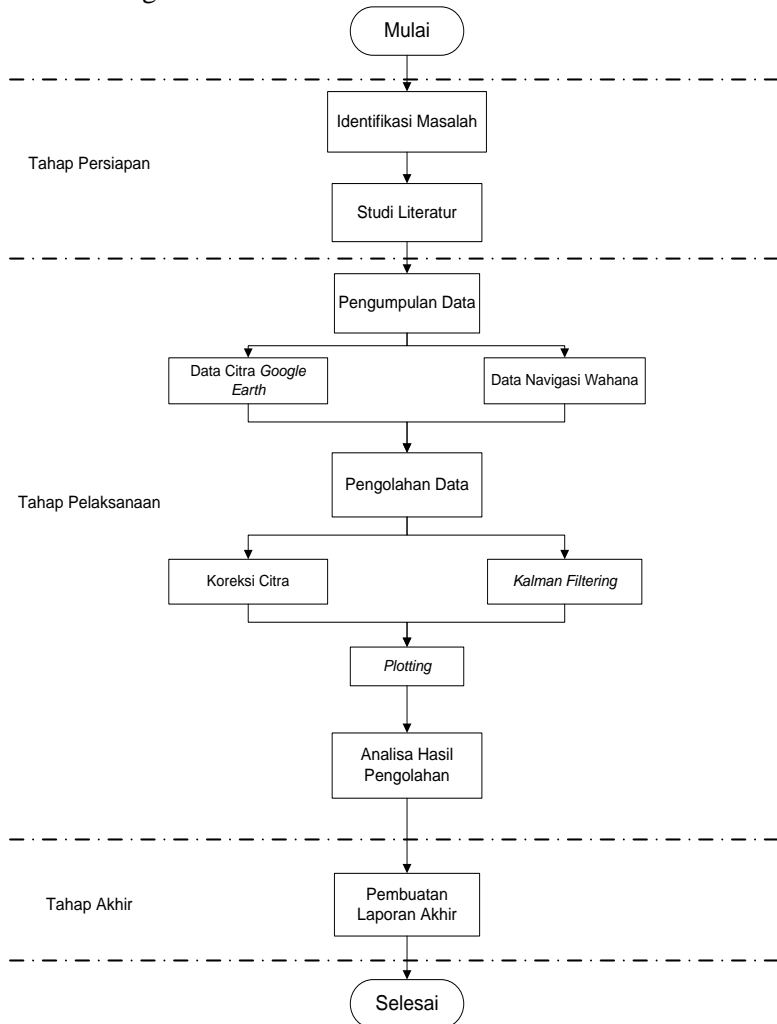
3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. *Hardware* (Perangkat Keras)
 - *Laptop*
 - *GPS Geodetik*
 - *GPS Handheld*
- b. *Software* (Perangkat Lunak)
 - *Matlab R2010a*
 - *Topcon Tools v.8.2.3*
 - *MapSource*
 - *ArcGIS 10.1*
 - *Microsoft Word 2010*
 - *Microsoft Excel 2010*
 - *Microsoft Visio 2007*

3.3 Diagram Alir Penelitian

Tahapan kegiatan yang dilaksanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan diagram alir tahapan kegiatan penelitian :

a. Identifikasi Masalah

Dalam penelitian ini terdapat permasalahan yaitu bagaimana menganalisa data navigasi wahana bergerak dengan menggunakan metode *kalman filtering* dan bagaimana mengetahui ketelitian koordinat prediksi hasil pengolahan *kalman filter*.

b. Studi Literatur

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, studi literatur yang dilakukan meliputi :

- Studi literatur mengenai metode navigasi wahana darat yang beregerak dengan teknologi *GPS*.
- Melakukan studi literatur mengenai metode *kalman filter*, dan
- Studi literatur mengenai koreksi citra *Google Earth* dan *plotting* koordinat.

c. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan semua data yang dibutuhkan. Data citra *Google Earth* dapat didownload dan data navigasi wahana didapat dari hasil pengukuran langsung di lapangan.

d. Pengolahan Data

Data navigasi wahana hasil pengukuran langsung di lapangan diolah untuk mendapatkan nilai posisi (x,y) dari wahana. Kemudian nilai posisi wahana diolah dengan metode *kalman filtering* untuk mendapatkan nilai prediksi dan pengukuran dari posisi wahana. Terdapat beberapa data yang tidak terekam atau hilang karena mengalami gangguan, data yang hilang tersebut akan diprediksi oleh *kalman filter*. Kemudian dilakukan *plotting* data koordinat prediksi hasil pengolahan *kalman filtering* pada citra *Google Earth* untuk mengetahui kesesuaiannya dengan jalur navigasi wahana di lapangan. Citra *Google*

Earth yang belum memiliki referensi koordinat harus di koreksi geometrik terlebih dahulu untuk menjadikannya bergeoreferensi. Jika citra sudah bergeoreferensi maka data koordinat hasil pengolahan *kalman filter* dapat di *plot* pada citra.

e. Analisa Hasil Pengolahan

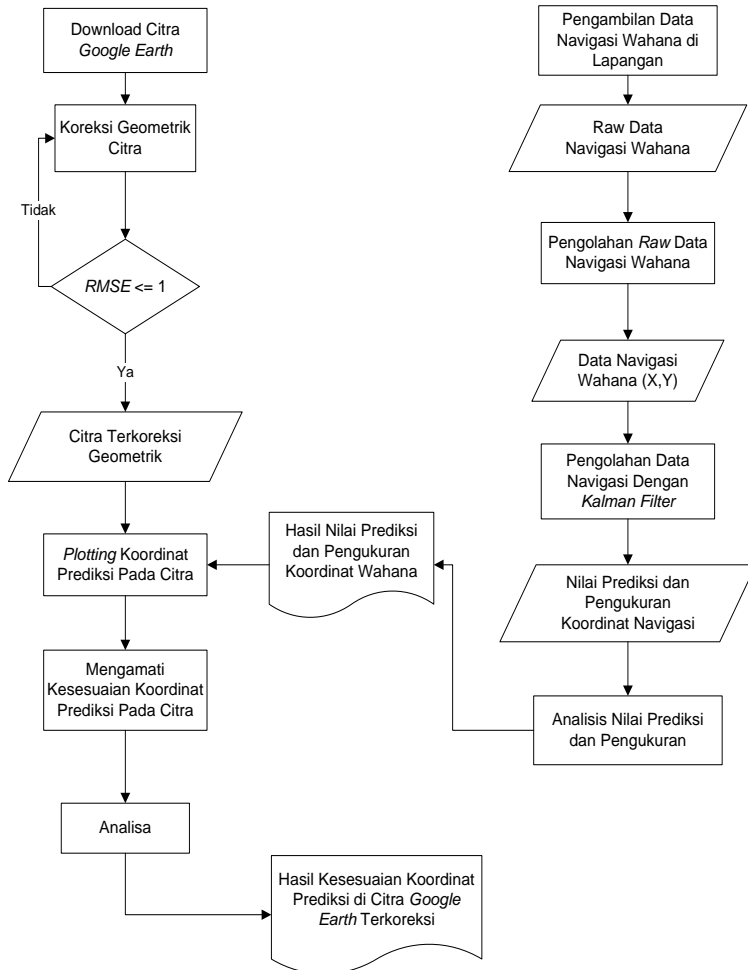
Pada tahapan ini, data yang sudah selesai diolah kemudian dilakukan analisa. Analisa yang dilakukan adalah mengenai nilai prediksi dan pengukuran dari data navigasi wahana bergerak setelah diolah dengan metode *kalman filter*. Analisa yang lain adalah terhadap data prediksi *kalman filter* setelah di *plotting* di citra *Google Earth* yang bergeoreferensi.

f. Pembuatan Laporan Akhir

Pada tahap akhir ini pekerjaan yang dilakukan adalah membuat dokumentasi berupa laporan untuk setiap tahapan proses penelitian.

3.4 Diagram Alir Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data yang dilaksanakan dalam kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data

Berikut ini adalah penjelasan diagram alir tahapan pengolahan data :

- a. *Download* citra *Google Earth* kampus ITS pada *Google Earth Pro*. Citra adalah *raw data* yang belum memiliki referensi koordinat (georeferensi).
- b. Untuk menjadikan citra bergeoreferensi maka dilakukan koreksi geometrik pada citra *Google Earth* menggunakan *software Arc Map*. Nilai *RMSE* harus sama dengan atau lebih kecil dari 1 piksel jika lebih dari 1 piksel maka dilakukan koreksi geometrik lagi sampai mendapatkan nilai *RMSE* sama atau lebih kecil dari 1 piksel.
- c. Pengambilan data navigasi wahana di lapangan dengan menggunakan alat *GPS Geodetik* yang dipasang pada mobil dan alat *GPS Handheld* yang di pasang pada motor. Metode pengukuran *GPS Geodetik* yang digunakan adalah metode kinematik karena menyesuaikan dengan mobil yang selalu bergerak dan pada *GPS Handheld* adalah metode absolut dengan cara *tracking*.
- d. Setelah melakukan pengukuran langsung di lapangan didapatkan *raw data* dari navigasi wahana. *Raw data GPS Geodetik* diolah dengan menggunakan salah satu *software* pengolah data *GPS* yaitu *Topcon Tools v.8.2.3* untuk mendapatkan nilai posisi (x,y) dari wahana ketika bergerak di lapangan. Dan data dari *GPS Handheld* diolah di *MapSource* untuk mendapatkan nilai posisi (x,y).
- e. Proses selanjutnya adalah melakukan pengolahan data posisi (x,y) dari wahana dengan menggunakan metode *kalman filtering* dalam program *Matlab*. Dari pengolahan dengan *kalman filter* didapatkan nilai pengukuran dan nilai prediksi dari navigasi wahana.
- f. Setelah didapatkan nilai pengukuran dan nilai prediksi dari data navigasi hasil pengolahan *kalman filter*, kemudian dilakukan analisa terhadap hasil tersebut untuk

mengetahui besarnya nilai *noise* yang terjadi saat wahana melakukan navigasi.

- g. Hasil pengolahan *kalman filter* yang berupa koordinat prediksi di *plot* pada citra *Google Earth* yang sudah bergeoreferensi untuk mengetahui kesesuaian dari koordinat prediksi *kalman filter* terhadap jalur navigasi wahana di lapangan. Untuk mengetahui kesesuaian koordinat prediksi dapat dilihat dari koordinat prediksi tepat atau tidak pada jalur navigasi wahana pada citra.
- h. Dilakukan analisa terhadap hasil *plotting* koordinat prediksi di citra *Google Earth* untuk mengetahui ketelitian yang dimiliki oleh koordinat prediksi hasil pengolahan dengan metode *kalman filter*.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

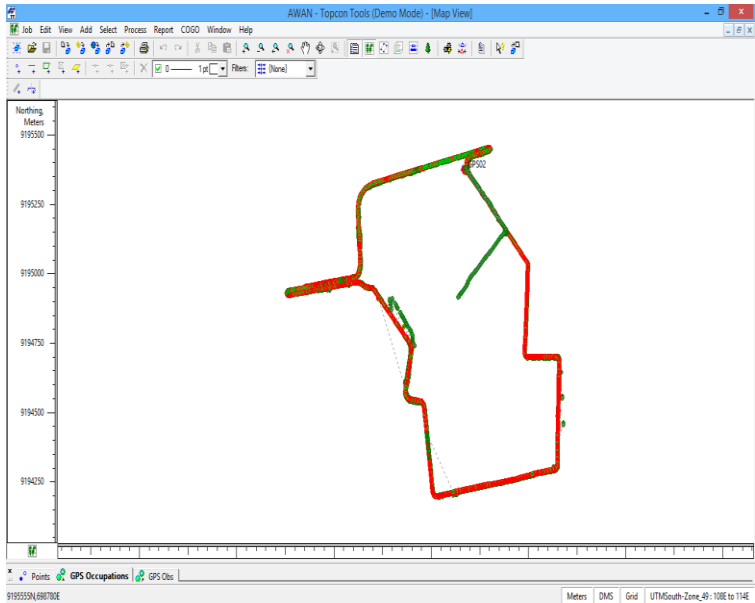
4.1 Hasil

4.1.1 Hasil Pengolahan Data Posisi Wahana

Data yang diperoleh dari hasil survey di lapangan masih bersifat *raw data* dan harus diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan data posisi wahana yang nantinya dapat diolah menggunakan metode *kalman filter*. Dalam penelitian ini dihasilkan koordinat posisi wahana dari dua buah alat *GPS* yaitu *GPS Geodetic* dan *GPS Handheld*.

1.1.1.1 Pengolahan Data Posisi *GPS Geodetic*

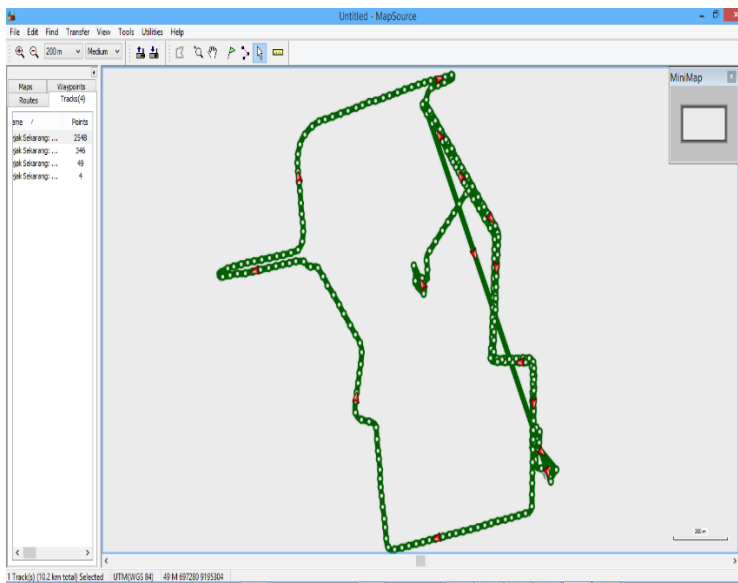
Data posisi wahana didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan *GPS Geodetic* yang memiliki akurasi tinggi dalam menentukan posisi. Metode pengukuran *GPS* yang digunakan adalah dengan metode kinematik karena data yang diperlukan adalah data posisi wahana yang bergerak. Pengukuran dilakukan di area kampus ITS dan hasil survei diolah dengan *software Topcon Tools* untuk mendapatkan nilai posisi wahana (x,y) sepanjang rute pengukuran. Didapatkan hasil seperti gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil Pengolahan Data Posisi Wahana
GPS Geodetic

4.1.1.2 Pengolahan Data Posisi *GPS Handheld*

Selain menggunakan *GPS Geodetic*, *GPS Handheld* juga sangat sering digunakan dalam sistem navigasi. *GPS Handheld* tidak memiliki ketelitian sebaik dengan yang dihasilkan oleh *GPS Geodetic*. Dalam penelitian ini, navigasi dengan *GPS Handheld* menggunakan metode absolut dalam melakukan *tracking* koordinat posisi wahana di jalan. Data posisi wahana kemudian diolah di *software MapSource* untuk mendapatkan nilai posisi (x,y) yang memiliki sistem yang sama dengan data hasil pengolahan *GPS Geodetic*. Hasil dari pengolahan data navigasi *GPS Handheld* ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Hasil Pengolahan Data Posisi Wahana *GPS Handheld*

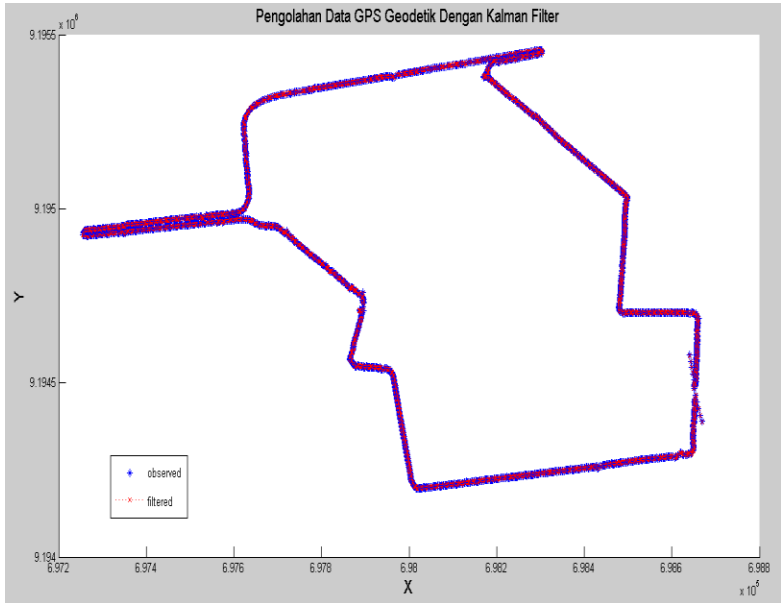
4.1.2 Hasil Pengolahan Data Posisi Wahana Dengan *Kalman Filtering*

Pengolahan data posisi wahana dengan metode *kalman filter* dilakukan di *software Matlab*. Dalam *matlab* sudah terdapat fungsi *kalman filter* yang mempermudah dalam pengolahan datanya. Data koordinat wahana akan diolah, diproses dan di tampilkan dalam *Matlab* untuk bahan analisis dalam penelitian ini.

4.1.2.1 Pengolahan Data Posisi *GPS Geodetik* Dengan *Kalman Filter*

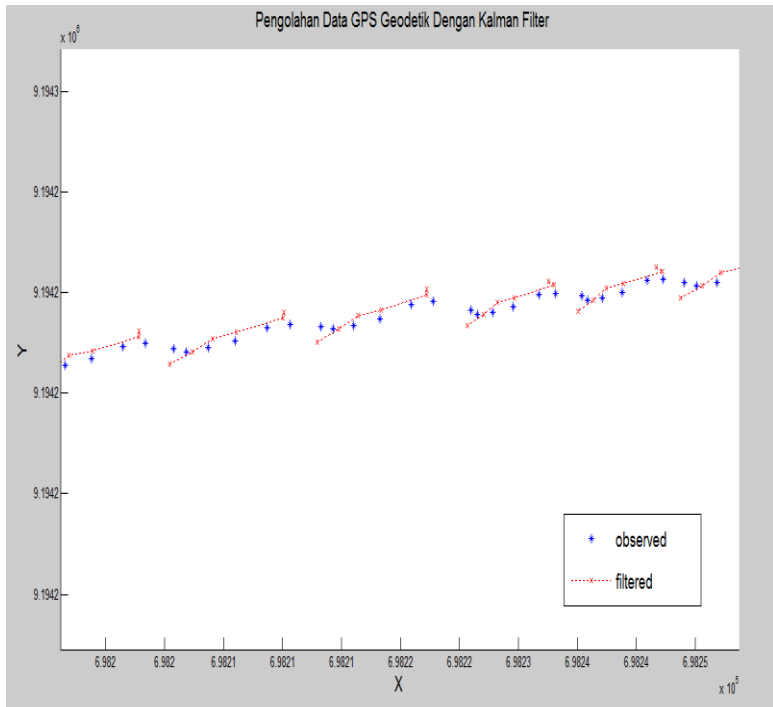
Setelah didapatkan nilai posisi (x,y) dari wahana kemudian dilakukan pengolahan posisi wahana dengan metode *kalman filtering*. Metode *kalman filtering* akan

menghasilkan nilai pengukuran sebenarnya (*observed*) dan nilai prediksi (*filtered*) dari posisi (x,y) wahana. Hasil pengolahan dengan *kalman filter* dapat dilihat pada gambar 4.3.



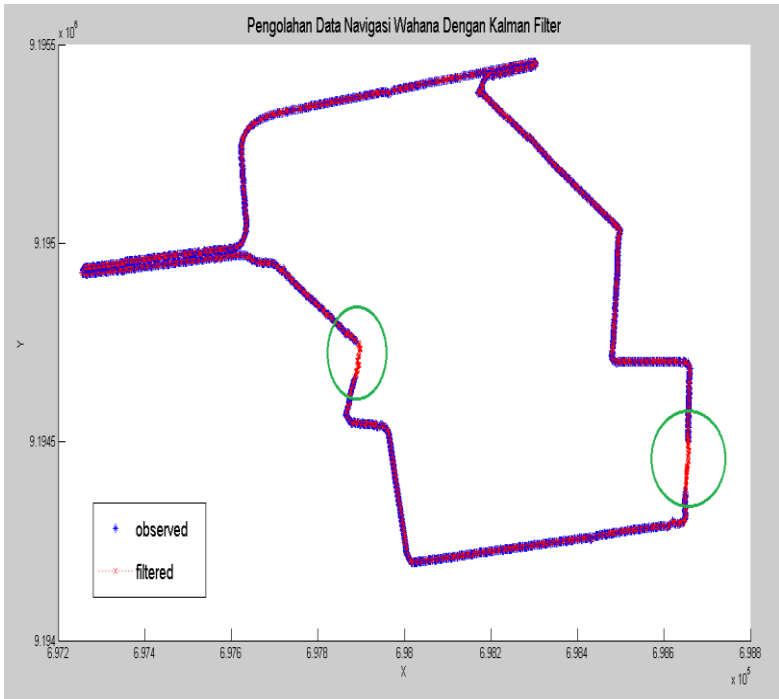
Gambar 4. 3 Hasil Pengolahan Data *GPS Geodetic* Dengan *Kalman Filtering* di *Matlab* (Tanpa Menggunakan Skala)

Gambar 4.4 menunjukkan perbedaan nilai posisi pengukuran (*observed*) di lapangan dengan nilai hasil prediksi (*filtered*) *kalman filtering*. Perbedaan dari nilai posisi *GPS Geodetic* dengan koordinat *kalman filter* nantinya akan digunakan untuk mengetahui ketelitian dari metode prediksi *kalman filtering*.



Gambar 4. 4 Nilai Pengukuran (*observed*) dan Prediksi (*filtered*) Koordinat *GPS Geodetic* Hasil Pengolahan *Kalman Filter*

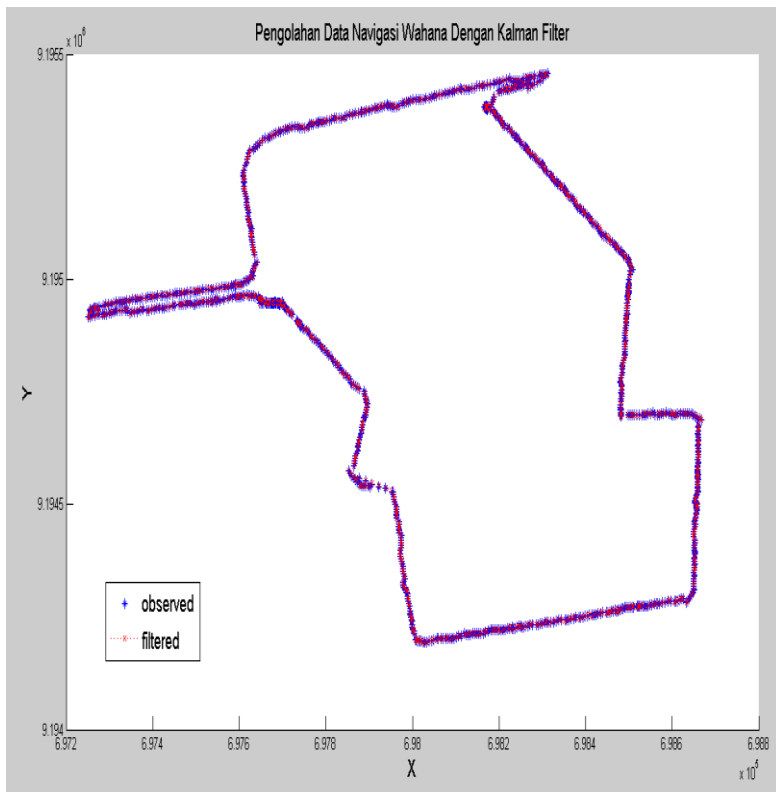
Kalman filter juga memiliki kemampuan untuk memprediksi data navigasi yang hilang atau tidak terekam. Dalam penelitian ini ada beberapa yang sengaja dihilangkan karena mengalami kesalahan. Data yang dihilangkan atau dianggap tidak terekam adalah sebanyak 60 detik dan 42 detik. Gambar 4.5 menunjukkan hasil prediksi koordinat yang tidak terekam oleh *kalman filter*.



Gambar 4. 5 Hasil Prediksi Koordinat *GPS Geodetic* Yang Tidak Terekam Selama 60 Detik dan 42 Detik

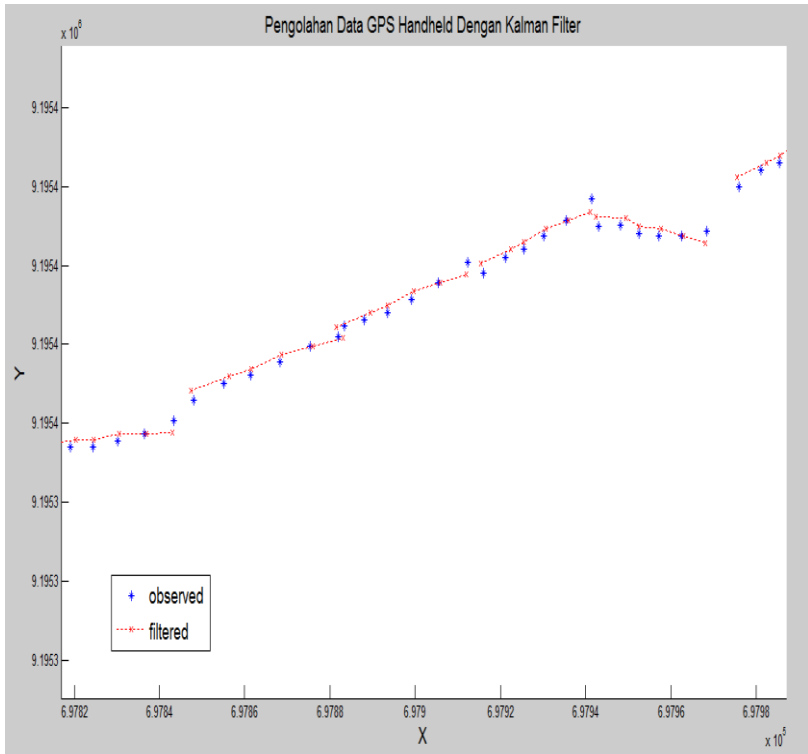
4.1.2.2 Pengolahan Data Posisi *GPS Handheld* Dengan *Kalman Filter*

Pengukuran navigasi wahana dengan *GPS Handheld* memberikan nilai koordinat posisi wahana yang kurang teliti jika dibandingkan dengan koordinat *GPS Geodetic*. Dalam prediksi *kalman filter*, koorinat navigasi akan diprediksi dengan baik tanpa melihat ketelitian dari koordinat tersebut. Seperti pada gambar 4.6 koordinat *GPS Handheld* diprediksi dengan baik oleh *kalman filter*.



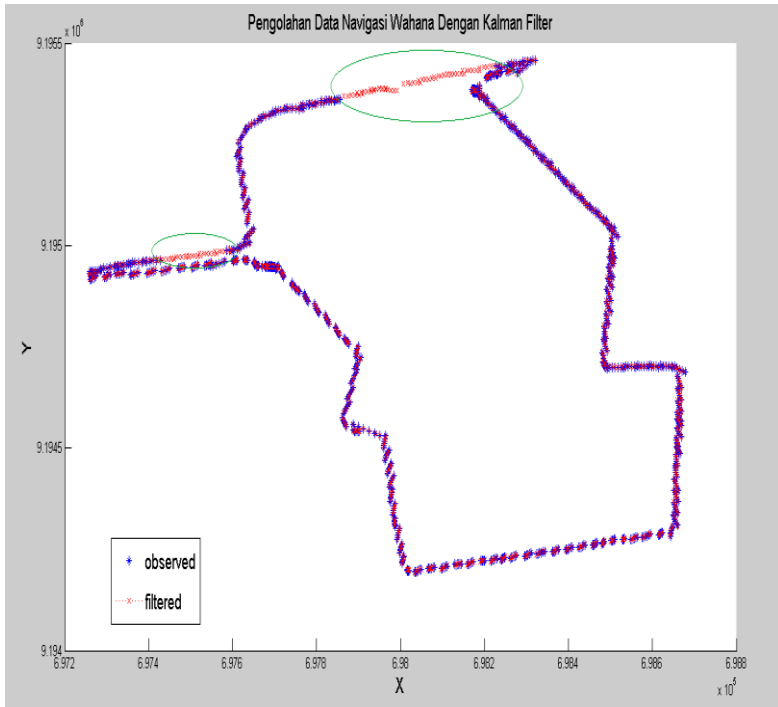
Gambar 4. 6 Hasil Pengolahan Data *GPS Handheld* Dengan *Kalman Filtering* di *Matlab* (Tanpa Menggunakan Skala)

Koordinat hasil pengukuran *GPS Handheld* di lapangan dengan hasil prediksi *kalman filter* ditampilkan pada gambar 4.7. Pada gambar menunjukkan koordinat prediksi tidak berbeda jauh dengan koordinat pengukurannya.



Gambar 4. 7 Nilai Pengukuran (*observed*) dan Prediksi (*filtered*) Koordinat *GPS Handheld* Hasil Pengolahan *Kalman Filter*

Dalam hasil pengukuran yang dilakukan menggunakan *GPS Handheld*, terdapat juga data yang sengaja dihilangkan untuk mengetahui kemampuan dari *kalman filter* dalam memprediksi data navigasi wahana yang tidak terekam. Gambar 4.8 menunjukkan hasil prediksi koordinat *GPS Handheld* yang tidak terekam selama 30 detik dan 60 detik.

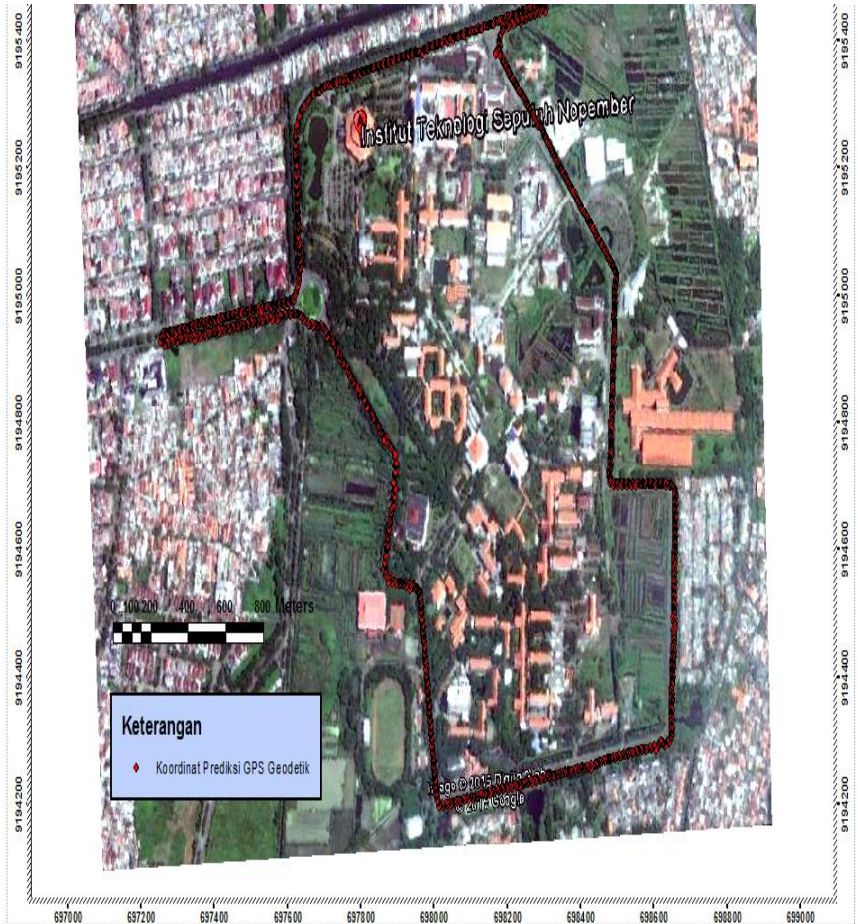


Gambar 4. 8 Hasil Prediksi Koordinat *GPS Handheld* Yang Tidak Terekam Selama 30 Detik dan 60 Detik

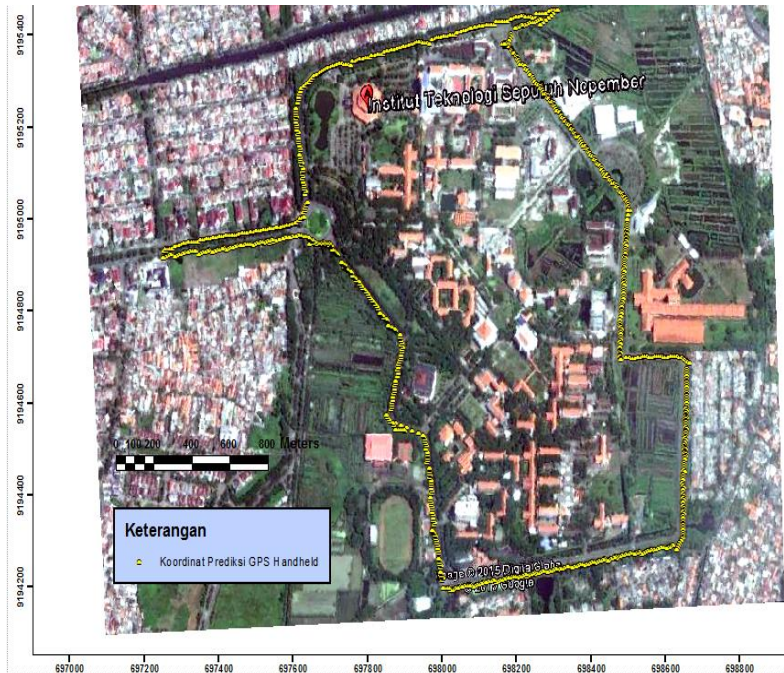
4.1.3 Hasil *Plotting* Koordinat Prediksi *Kalman Filter* Pada Citra *Google Earth*

Plotting hasil koordiinat prediksi bertujuan untuk mengetahui ketelitian dari koordinat prediksi hasil *kalman filter* berdasarkan citra *Google Earth* yang bergeoreferensi. Hasil *plotting* menunjukkan bahwa koordinat hasil prediksi dari *GPS Geodetic* dan *GPS Handheld* memiliki kesesuaian yang cukup baik dengan jalur wahana di lapangan. Dikatakan memiliki kesesuaian yang cukup baik karena koordinat prediksi tidak berada jauh dari ruas jalan yang

dilewati wahana yang dijadikan sebagai acuan untuk menentukan apakah prediksi *kalman filter* sesuai atau tidak. Hasil *plotting* koordinat prediksi *GPS Geodetic* dan *GPS Handheld* dapat dilihat pada gambar 4.9 dan gambar 4.10.



Gambar 4. 9 Hasil *Plotting* Koordinat Prediksi *GPS Geodetic* Pada Citra *Google Earth*



Gambar 4. 10 Hasil *Plotting* Koordinat Prediksi *GPS Handheld* Pada Citra *Google Earth*

4.2 Analisis

4.2.1 Analisis Hasil Pengolahan *Kalman Filter*

4.2.1.1 Pengolahan *Kalman Filter* Pada *GPS Geodetic*

Hasil pengolahan koordinat posisi dengan *kalman filter* memberikan nilai prediksi koordinat yang cukup baik. Dari 2424 data koordinat, hasil prediksi memberikan data prediksi hampir mendekati nilai sebenarnya di lapangan yaitu selisihnya sekitar 0,01-4 meter. Tetapi ada beberapa data yang memberikan nilai prediksi yang sangat berbeda jauh dengan koordinat pengukuran dikarenakan faktor kesalahan pada alat atau karena faktor keadaan alam.

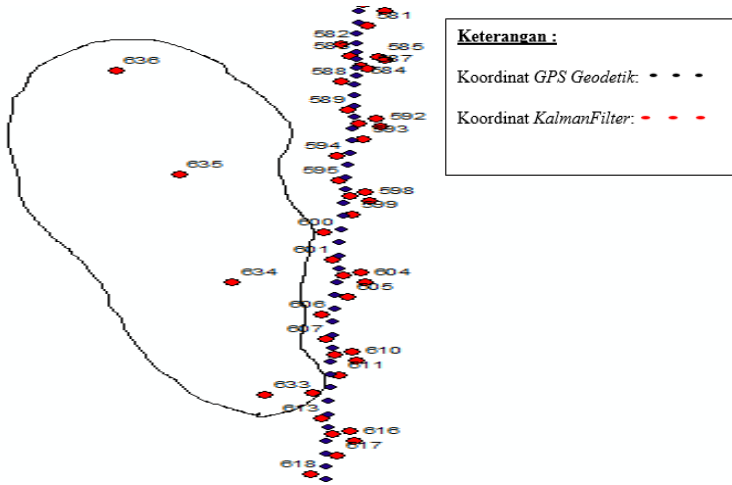
Tabel 4. 1 Selisih Koordinat Pengukuran *GPS Geodetik* Dengan Koordinat Prediksi *Kalman Filter*

No	Koordinat <i>GPS Geodetik</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	ΔX (meter)	ΔY (meter)
1	698170,417	9195379,813	698169,843	9195381,010	0,574	-1,197
2	698170,414	9195379,813	698171,836	9195380,817	-1,422	-1,004
3	698170,419	9195379,818	698169,982	9195379,727	0,437	0,091
4	698170,42	9195379,816	698169,985	9195379,496	0,435	0,320
5	698170,418	9195379,818	698170,342	9195378,559	0,076	1,259
6	698170,406	9195379,79	698170,479	9195377,649	-0,073	2,141
7	698170,407	9195379,785	698169,833	9195380,982	0,574	-1,197
8	698170,396	9195379,786	698171,818	9195380,79	-1,422	-1,004
9	698170,392	9195379,778	698169,956	9195379,701	0,436	0,077
10	698170,405	9195379,789	698169,951	9195379,471	0,454	0,318
11	698170,399	9195379,788	698170,299	9195378,535	0,099	1,253
12	698170,395	9195379,785	698170,429	9195377,626	-0,034	2,159
13	698170,391	9195379,785	698169,817	9195380,982	0,574	-1,197
14	698170,393	9195379,775	698171,815	9195380,779	-1,422	-1,004
15	698170,395	9195379,779	698169,966	9195379,679	0,429	0,100

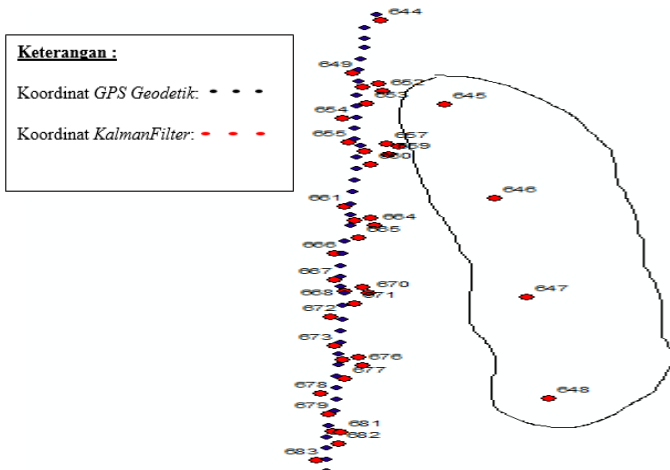
Terdapat data posisi prediksi yang memberikan hasil prediksi yang jauh melebihi 4 meter bahkan ada yang mencapai 80 meter. Pada tabel 4.2 terdapat koordinat posisi *GPS Geodetic* mengalami *cycle slips* yang mempengaruhi hasil prediksi. *Cycle slips* menyebabkan signal dari *GPS* tidak terekam secara sempurna oleh alat.

Tabel 4. 2 Koordinat Posisi Wahana Mengalami *Cycle Slips*

No	Koordinat <i>GPS Geodetic</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	ΔX (meter)	ΔY (meter)
633	698656,807	9194508,070	698650,482	9194528,932	6,326	-20,864
634	698654,369	9194505,230	698648,138	9194547,234	6,231	-42,002
635	698652,297	9194503,440	698644,196	9194564,639	8,101	-61,196
636	698652,221	9194501,300	698639,589	9194581,514	12,632	-80,216
645	698653,186	9194461,940	698659,458	9194447,275	-6,271	14,663
646	698653,088	9194459,950	698663,514	9194429,164	-10,426	30,789
647	698653,141	9194458,150	698665,972	9194410,156	-12,831	47,994
648	698652,830	9194455,970	698667,765	9194390,618	-14,935	65,353



Gambar 4. 11 Posisi Wahana Pada Koordinat Prediksi No. 633-636 Mengalami *Cycle Slips*

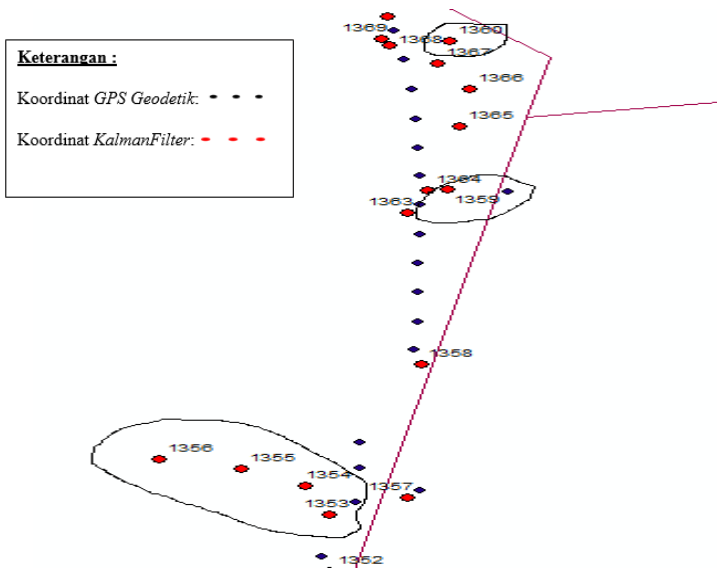


Gambar 4. 12 Posisi Wahana Pada Koordinat Prediksi No. 645-648 Mengalami *Cycle Slips*

Selain mengalami *Cycle slips* data pengukuran *GPS* juga mengalami kesalahan akibat efek *Multipath*. Jalanan di ITS yang cenderung rindang dan banyak pohon dipinggir jalan mengakibatkan pengukuran *GPS* mengalami *multipath* terutama di jalanan depan Fakultas MIPA dan di jalan sepanjang Taman Alumni ITS.

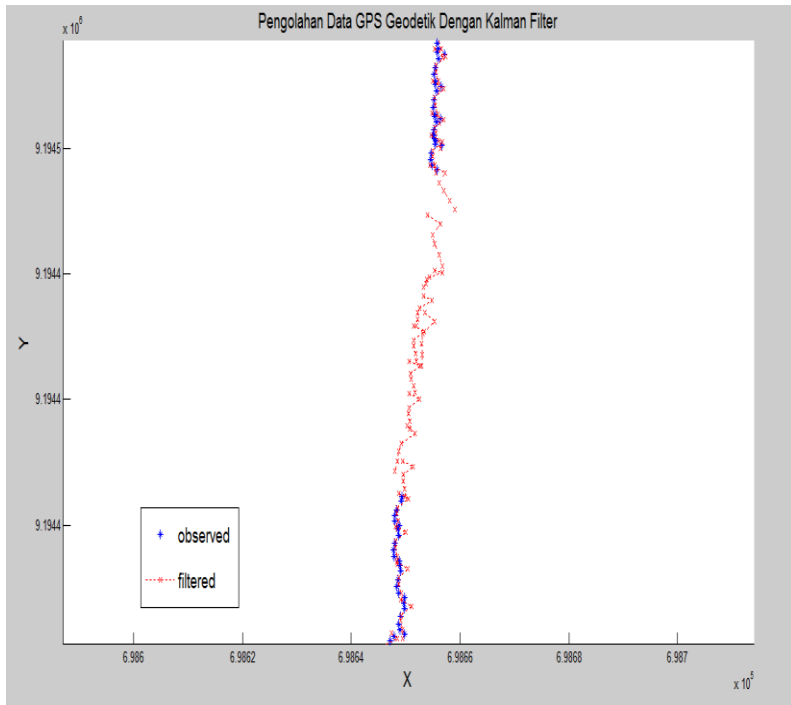
Tabel 4. 3 Koordinat Posisi Wahana Mengalami *Multipath*

No	Koordinat <i>GPS Geodetik</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	ΔX (meter)	ΔY (meter)
1353	697899,160	9194730,391	697892,072	9194706,350	7,089	24,041
1355	697893,261	9194709,847	697888,584	9194709,795	4,677	0,052
1356	697893,270	9194711,776	697885,376	9194710,539	7,894	1,237
1359	697895,554	9194720,726	697896,755	9194730,599	-1,200	-9,873
1360	697895,600	9194722,973	697896,873	9194741,642	-1,273	-18,669
1361	697895,623	9194725,125	697895,393	9194751,788	0,230	-26,663
1362	697895,650	9194727,276	697893,248	9194761,404	2,402	-34,128



Gambar 4. 13 Posisi Wahana Mengalami *Multipath*

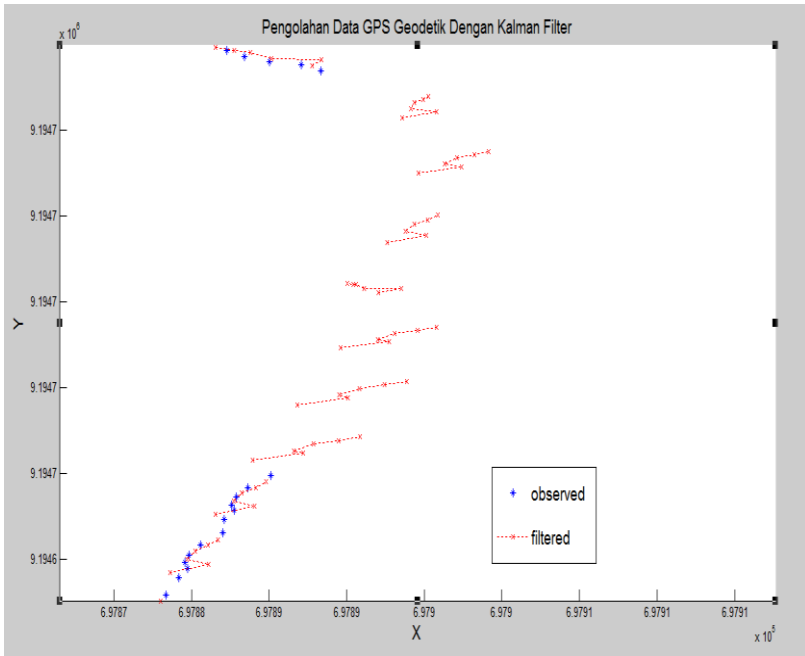
Dikarenakan ada beberapa data *GPS Geodetic* yang mengalami kesalahan maka dilakukan penghilangan data posisi yang salah untuk menghilangkan data prediksi yang memiliki kesalahan yang besar. Jika data posisi dihilangkan, *kalman filter* mampu memberikan prediksi terhadap data yang hilang dengan baik. Pada gambar 4.14 dapat dilihat hasil prediksi dari koordinat *GPS Geodetic* nomer 600-660 yang sengaja dihilangkan akibat mengalami gangguan *cycle clips*.



Gambar 4. 14 Prediksi Koordinat *GPS Geodetic* Yang Tidak Terekam Selama 60 Detik Akibat Mengalami *Cycle Clips*

Koordinat hasil prediksi dari data *GPS Geodetic* yang hilang memberikan nilai yang tidak berbeda jauh dengan nilai aslinya. Dapat dilihat pada gambar 4.14, data prediksi berada pada jalur yang benar tetapi tidak tertata rapi dalam penentuan posisi prediksinya di lapangan.

Koordinat pengukuran *GPS Geodetic* juga mengalami *multipath* sehingga data prediksi mengalami kesalahan. Gambar 4.15 menunjukkan data *GPS Geodetic* yang dihilangkan 42 detik karena mengalami *multipath*. Terdapat 42 data *GPS Geodetic* yang dihilangkan yaitu koordinat nomer 1338-1380.



Gambar 4. 15 Prediksi Koordinat *GPS Geodetic* Yang Tidak Terekam Selama 42 Detik Akibat Mengalami *Multipath*

Nilai prediksi dapat digunakan sebagai data pengukuran jika terdapat kehilangan data atau data pengukuran mengalami kesalahan karena *kalman filter* memberikan nilai prediksi yang baik terhadap data yang hilang.

4.2.1.2 Pengolahan *Kalman Filter* Pada *GPS Handheld*

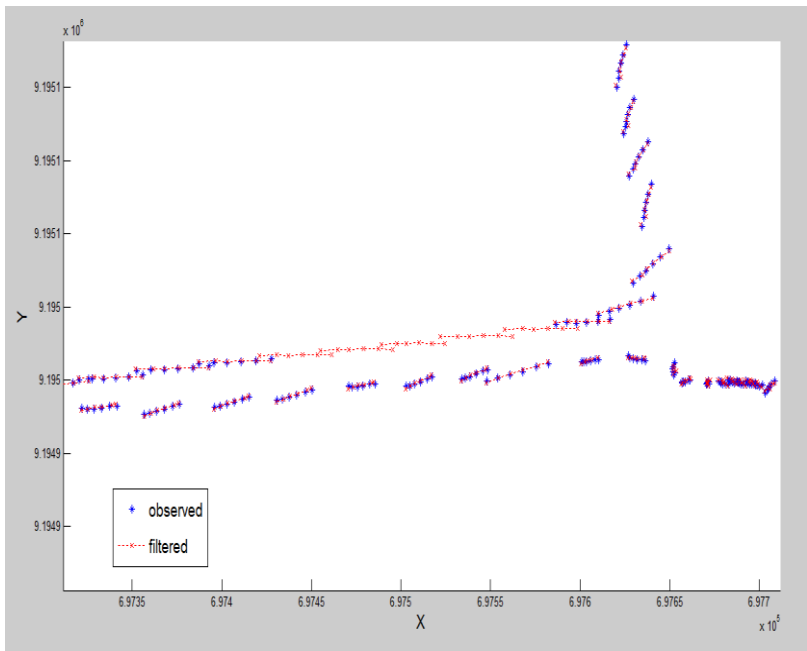
Pengukuran yang menggunakan *GPS Handheld* menghasilkan 1086 data posisi. Data prediksi dari koordinat *GPS Handheld* memberikan selisih nilai prediksi dan pengukuran mencapai 10 meter. Selisih nilai prediksi dan pengukuran cukup besar dikarenakan

koordinat dilapangan didapat dari alat yang tidak memiliki ketelitian yang tinggi. *Kalman filter* memprediksi data yang kurang teliti sehingga terdapat beberapa hasil prediksi yang memiliki nilai kurang baik. Selain alat yang tidak memiliki ketelitian pengukuran posisi yang teliti, data pengukuran juga dapat mengalami gangguan *multipath* dan gangguan terhadap signal karena jalanan di ITS cenderung rindang.

Tabel 4. 4 Selisih Koordinat Pengukuran *GPS Handheld* dengan Koordinat Prediksi *Kalman Filter*

No	Koordinat <i>GPS Handheld</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	ΔX (meter)	ΔY (meter)
1	698172,000	9195378,000	698171,426	9195379,200	0,574	-1,197
2	698172,000	9195378,000	698173,422	9195379,000	-1,422	-1,004
3	698172,000	9195378,000	698171,571	9195377,910	0,429	0,086
4	698172,000	9195378,000	698171,577	9195377,680	0,423	0,317
5	698172,000	9195378,000	698171,937	9195376,750	0,063	1,254
6	698172,000	9195378,000	698172,077	9195375,840	-0,077	2,164
7	698173,000	9195378,000	698172,426	9195379,200	0,574	-1,197
8	698173,000	9195379,000	698174,422	9195380,000	-1,422	-1,004
9	698175,000	9195379,000	698172,571	9195379,910	2,429	-0,914
10	698177,000	9195379,000	698172,577	9195380,680	4,423	-1,683
11	698180,000	9195379,000	698172,937	9195380,750	7,063	-1,746
12	698183,000	9195377,000	698173,077	9195380,840	9,923	-3,836
13	698186,000	9195374,000	698185,426	9195375,200	0,574	-1,197
14	698188,000	9195372,000	698189,422	9195373,000	-1,422	-1,004
15	698191,000	9195369,000	698189,571	9195369,910	1,429	-0,914

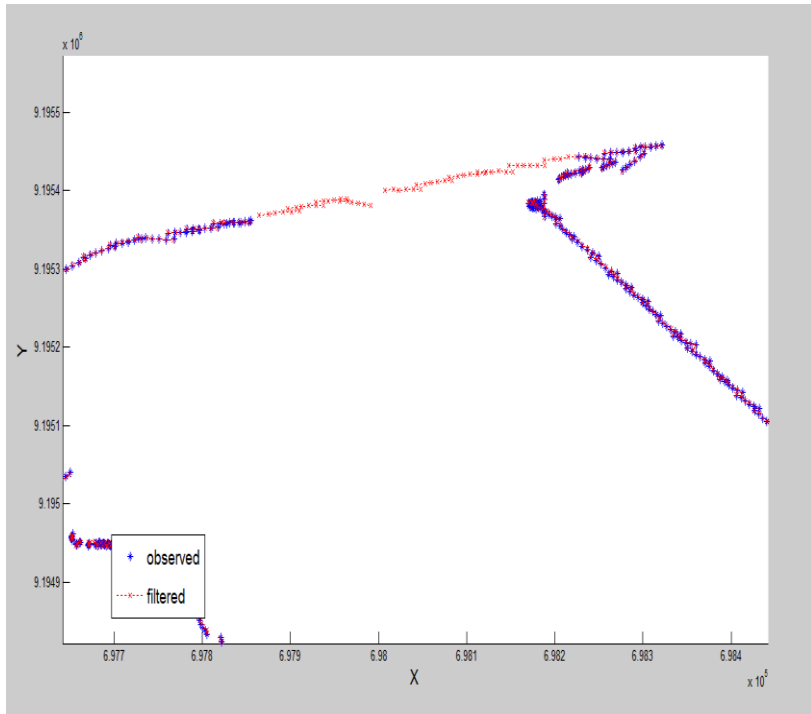
Hasil prediksi dari koordinat *GPS Handheld* yang tidak terekam memberikan nilai prediksi yang baik dan tidak berbeda jauh dari posisi wahana seharusnya. Dapat dilihat pada gambar 4.16 koordinat prediksi dari data yang tidak terekam selama 30 detik menunjukkan hasil prediksi yang rapi dan hampir sesuai dengan posisi wahana di lapangan.



Gambar 4. 16 Prediksi Koordinat *GPS Hanheld* Yang Tidak Terekam Selama 30 Detik

Pada gambar 4.17 ditunjukkan hasil prediksi koordinat *GPS Handheld* yang tidak terekam selama 60 detik. Dapat dilihat pada gambar hasil prediksi cukup baik dan tidak berbeda jauh dengan hasil pengukuran di lapangan.

Tetapi dalam memprediksi 60 detik data yang hilang, terdapat hasil yang kurang rapi dari hasil prediksi. Hal ini dikarenakan semakin banyak data yang hilang maka *kalman filter* akan semakin sulit memberikan hasil prediksi yang akurat.



Gambar 4. 17 Prediksi Koordinat *GPS Handheld* Yang Tidak Terekam Selama 60 Detik

4.2.2 Analisis Nilai Standar Deviasi

Standar deviasi dalam penelitian ini digunakan untuk mencari pola sebaran kesalahan (*error*) dari data prediksi *kalman filter*. Nilai standar deviasi menunjukkan

hasil prediksi yang cukup baik dari metode *kalman filter*. Pada tabel 4.5 nilai standar deviasi dari keseluruhan data yang ada menunjukkan standar deviasi pada posisi X adalah sebesar 1,35 meter dan pada posisi Y adalah sebesar 3,44 meter.

Tabel 4. 5 Nilai Standar Deviasi Kesalahan Prediksi *GPS Geodetic*

Data <i>GPS Geodetic Normal</i>	
<i>STDEV X</i> (meter)	<i>STDEV Y</i> (meter)
1,346142931	3,443699998

Karena pengukuran di lapangan terdapat kesalahan yang besar akibat mengalami *Cycle Clips* dan *Multipath* data posisi *GPS Geodetic* yang mengalami kesalahan besar dihapuskan untuk mengetahui nilai standar deviasi yang baru. Setelah data posisi wahana yang memiliki kesalahan yang besar dihapuskan maka nilai standar deviasi dari perbedaan nilai pengukuran dengan nilai prediksi *GPS Geodetic* seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.6 adalah sebesar 0,81 meter pada posisi X dan 1,52 meter pada posisi Y.

Tabel 4. 6 Nilai Standar Deviasi Kesalahan Prediksi Setelah Data *Error* Dihilangkan

Data <i>GPS Geodetic Error</i> Dihilangkan	
<i>STDEV X</i> (meter)	<i>STDEV Y</i> (meter)
0,810344949	1,518650308

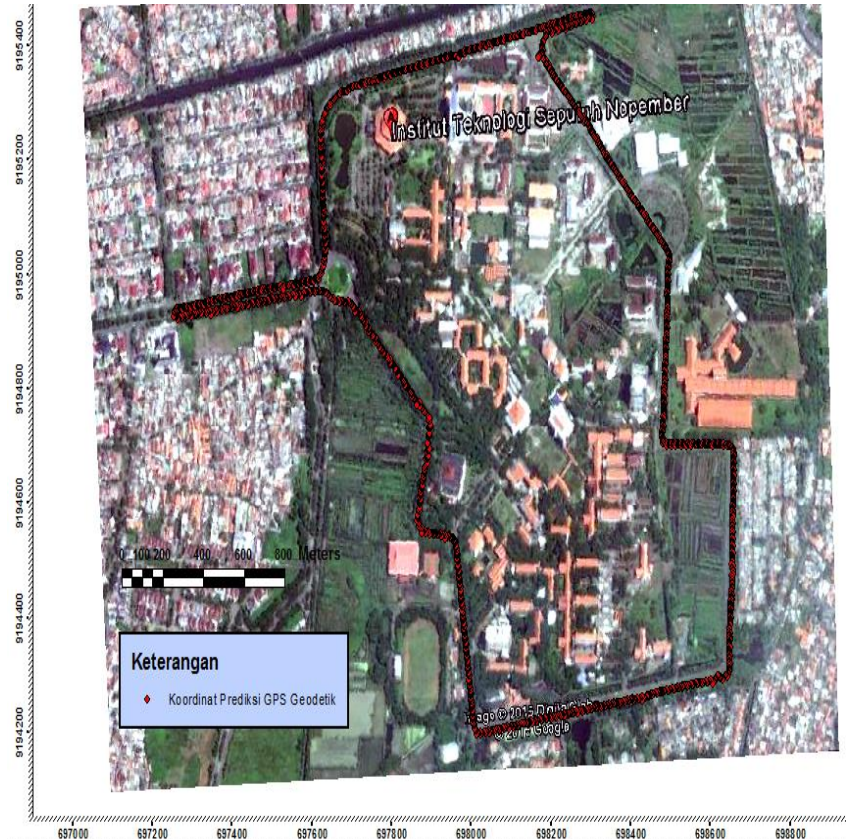
Pada prediksi koordinat *GPS Handheld* didapatkan nilai standar deviasi dari selisih nilai pengukuran dan nilai prediksi adalah sebesar 2,52 meter pada X dan 2,54 meter pada Y seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.7. Dibandingkan dengan standar deviasi dari *GPS Geodetic* yang nilai *error* pada koordinatnya sudah dihilangkan maka nilai standar deviasi dari *GPS Handheld* jauh lebih besar. Jadi dapat dikatakan nilai kesalahan prediksi dari *GPS Handheld* lebih besar dibandingkan nilai kesalahan *GPS Geodetic*.

Tabel 4. 7 Nilai Standar Deviasi Kesalahan Prediksi *GPS Handheld*

Data <i>GPS Handheld</i> Normal	
<i>STDEV</i> X (meter)	<i>STDEV</i> Y (meter)
2,521951612	2,537278415

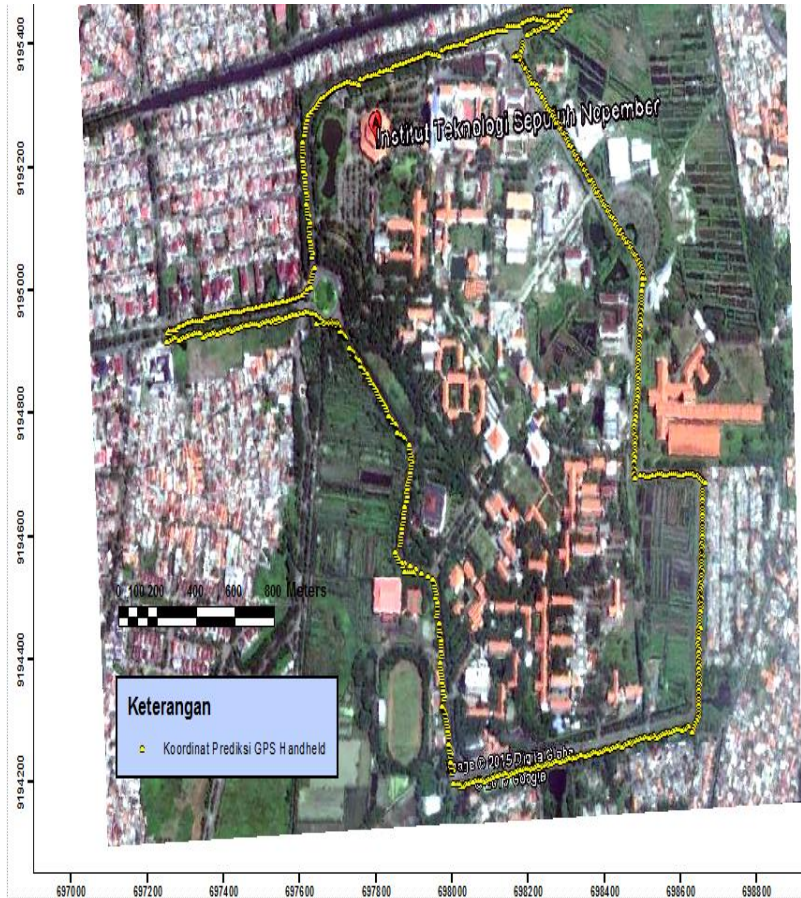
4.2.3 Analisis Hasil *Plotting* Koordinat Prediksi Pada Citra *Google Earth*

Plotting nilai prediksi dari *GPS Geodetic* dan *GPS Handheld* pada citra *Google Earth* yang bergeoreferensi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian dari hasil prediksi *kalman filter* terhadap jalur navigasi wahana di lapangan. Dikatakan memiliki kesesuaian jika hasil *plotting* koordinat prediksi tidak berbeda jauh dengan posisi wahana ketika melakukan navigasi di jalan. Hasil *plotting* koordinat *GPS Geodetic* prediksi *kalman filter* pada citra *Google Earth* menunjukkan hasil yang sangat baik karena hasil *plotting* berada di dalam ruas jalan tempat wahana melakukan navigasi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.18.



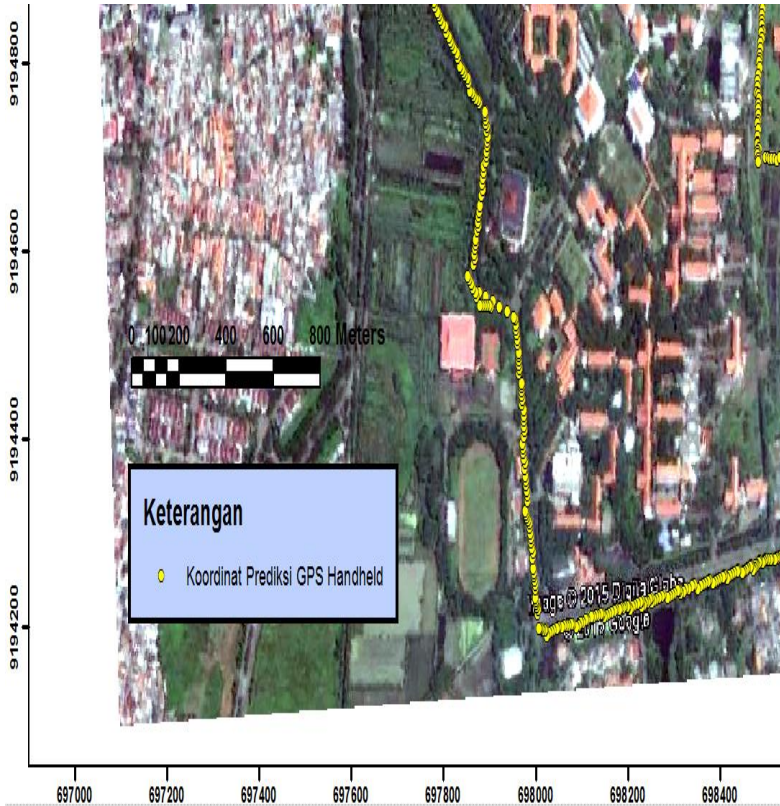
Gambar 4. 18 Hasil *Plotting* Koordinat Prediksi *GPS Geodetic* Pada Citra *Google Earth*

Hasil *plotting* koordinat prediksi *GPS Handheld* seperti pada gambar 4.19 menunjukkan koordinat prediksi tidak semua tepat berada pada ruas jalan dari rute yang dilewati wahana, tetapi perbedaannya tidak terlalu jauh. Bisa dikatakan hasil prediksi koordinat *GPS Handheld* oleh *kalman filter* tidak terlalu buruk.



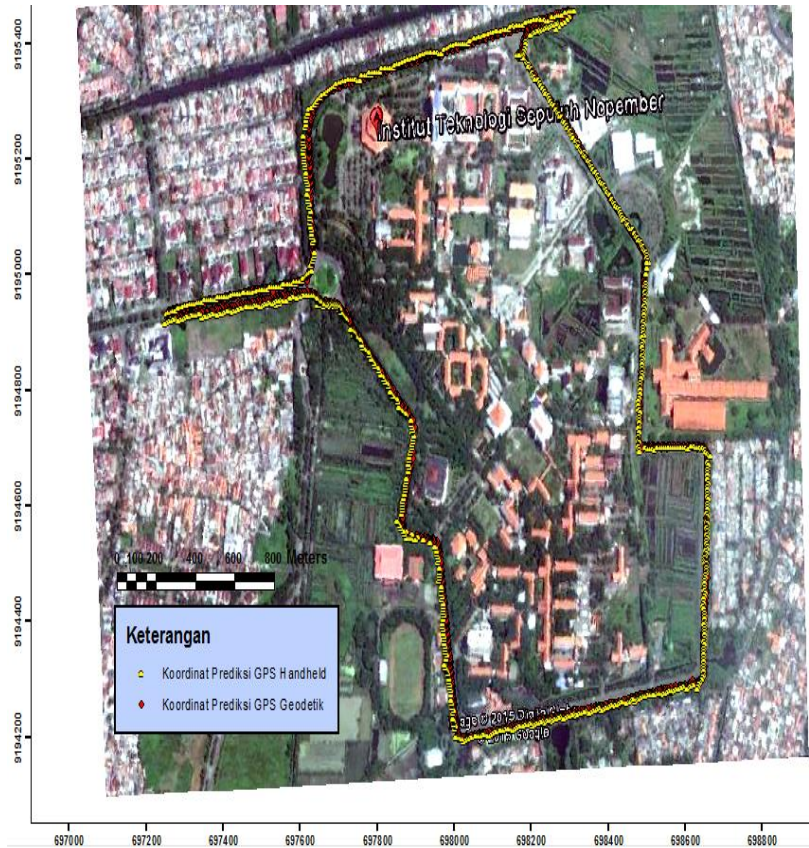
Gambar 4. 19 Hasil *Plotting* Koordinat Prediksi *GPS Handheld* Pada Citra *Google Earth*

Hasil *plotting* dari koordinat *GPS Handheld* terlihat lebih jelas setelah diperbesar seperti yang ditampilkan pada gambar 4.20. Pada gambar terlihat koordinat prediksi dari *GPS Handheld* berada di luar dari ruas jalan.



Gambar 4. 20 Hasil Plotting Koordinat Prediksi *GPS Handheld* Pada Citra *Google Earth* (gambar diperbesar)

Perbandingan hasil *plotting* meunjukkan koordinat prediksi *GPS Geodetic* lebih baik dibandingkan dengan prediksi *GPS Handheld*. Koordinat prediksi *GPS Geodetic* memberikan data hampir sesuai dengan data pengukuran di lapangan dan ada beberapa hasil prediksi pada koordinat *GPS Handheld* berada diluar jalur pengukuran atau berada di luar ruas jalan. Perbandingan hasil *plotting* dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Perbandingan Hasil *Plotting* Koordinat Prediksi GPS Geodetic Dengan GPS Handheld

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis data navigasi wahana bergerak dengan metode *kalman filtering* maka didapatkan kesimpulan yaitu :

- a. Koordinat hasil prediksi dengan metode *kalman filtering* memberikan hasil prediksi yang cukup baik yaitu mencapai selisih 0,01-4 meter dari data *GPS Geodetic* dan dari data *GPS Handheld* memberikan nilai prediksi 0,2-10 meter. Pada *GPS Geodetic* terdapat beberapa data yang memiliki selisih yang sangat jauh dengan koordinat pengukuran yaitu mencapai selisih 80 meter dikarenakan data pengukuran *GPS* yang dipasang di wahana mengalami kesalahan *Cycle Slips* dan mengalami *Multipath*.
- b. Hasil prediksi *kalman filter* pada koordinat *GPS Geodetic* memberikan nilai standar deviasi dari kesalahan prediksi adalah pada posisi X adalah sebesar 1,35 meter dan pada posisi Y adalah sebesar 3,44 meter. Setelah dilakukan penghilangan data yang memiliki nilai kesalahan yang besar, nilai standar deviasi menjadi 0,81 meter pada posisi X dan 1,52 meter pada posisi Y. Standar deviasi yang dihasilkan dari kesalahan prediksi *GPS Handheld* adalah sebesar 2,52 meter pada X dan 2,54 meter pada Y. Dilihat dari nilai standar deviasinya, prediksi dari *GPS Geodetic* memiliki nilai kesalahan yang lebih kecil dibandingkan dengan kesalahan dari prediksi menggunakan *GPS Handheld*.
- c. *Kalman filter* memiliki kemampuan yang baik dalam memprediksi data yang tidak terekam dalam sistem navigasi. Nilai prediksi yang dihasilkan cukup rapi dan mendekati posisi wahana yang sebenarnya di lapangan. Dalam *kalman filter* semakin banyak data yang hilang

maka *kalman filter* akan semakin sulit memberikan hasil prediksi yang akurat.

- d. Hasil *plotting* koordinat prediksi pada citra *Google Earth* yang sudah bergeoreferensi menunjukkan prediksi dari koordinat *GPS Geodetic* lebih sesuai dibandingkan dengan prediksi dari koordinat *GPS Handheld* karena koordinat prediksi *GPS Geodetic* berada lebih tepat dalam jalur wahana ketika wahana melakukan navigasi di jalan. Koordinat prediksi *GPS Handheld* tidak bisa dibilang buruk karena hasil prediksi *GPS Handheld* tidak keluar jauh dari jalur wahana.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini diperoleh beberapa saran antara lain:

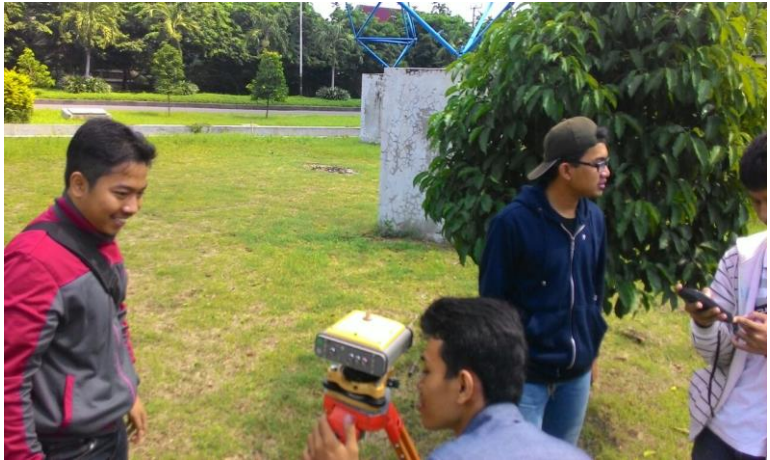
- a. Suatu sistem bisa diolah dengan metode *kalman filter* jika berbentuk *linear*. Jika sistem belum *linear* maka harus dilinierisasikan terlebih dahulu..
- b. Waktu Pengambilan data antara *GPS Geodetic* dan *GPS Handheld* harus disesuaikan dalam waktu yang sama dan dalam wahana yang sama supaya data *GPS Geodetic* dan *GPS Handheld* dapat dibandingkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbot, E., dan Powell, D. January 1999. "Land Vehicle Navigation Using GPS". Proceedings of the IEEE, VOL. 87, NO. 1.
- Abidin, H. Z. 2006. Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Brakatsaulas, S., dkk. 2005. "On Map-Matching Vehicle Tracking Data". Proceedings of the 31st VLDB Conference, Trondheim.
- Grewal, Mohinder S., dan Andrews. 2001. Kalman Filtering: Theory and Practice Using Matlab 2nd Edition. California: A Wiley-Interscience Publication
- Junus, M. Oktober 2012. "Sistem Pelacakan Posisi Kendaraan Dengan Teknologi GPS & GPRS Berbasis WEB". Jurnal ELTEK, Vol 10 No 02, ISSN 1693-4024.
- Kumar, Vikas. 2004. "Integration of Inertial Navigation System and Global Positioning System Using Kalman Filtering". Mumbai: Indian Institut Of Technology.
- Kusmanto, Nando. 2009. "Rancang Bangun Sistem Navigasi Inersia Dengan Kalman Filter Pada Mikrokontroler AVR". Depok: Universitas Indonesia.
- Li, Y., dkk. 2013. "Large Scale Joint Map Matching of GPS Traces". Proceeding of the 21st ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information System. ISBN: 978-1-4503-2521-9.

- Lou, Y., dkk. 2009. "Map-Matching for Low-Sampling-Rate GPS Trajectories". Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems. ISBN: 978-1-60558-649-6.
- Marchal, F., Hackney, J., dan Axhausen. 2004. "Efficient map-matching of large GPS data sets - Tests on a speed monitoring experiment in Zurich". Zurich : ETH Zurich
- Rokim, Moch. Saiful. 2004. "Sistem Navigasi Pada Kendaraan Bermotor". Malang: PPPPTK BOE.
- Welch, G., dan Bishop, G. 2006. An Introduction to the Kalman Filter. North Carolina: Departement of Computer and Science, University of North Carolina.
- Wicaksono, D.A. 2009. "Rancang Bangun Sistem Navigasi GPS/INS dan Kompas Digital Dengan Kalman Filter Pada Mikrontroler AVR". Depok: Universitas Indonesia.

LAMPIRAN 1. Dokumentasi



Gambar 1: Melakukan pemasangan alat pada titik *base*



Gambar 2: Melakukan pemasangan alat pada wahana sebagai *rover*

LAMPIRAN 2. Hasil Pengolahan *Kalman Filter*

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Handheld* Koordinat no 1-15

No	Koordinat <i>GPS Handheld</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
1	698172	9195378	698171,426	9195379,2	0,574448148	-1,197106561
2	698172	9195378	698173,422	9195379	-1,422127438	-1,00391734
3	698172	9195378	698171,571	9195377,91	0,428929199	0,0864398
4	698172	9195378	698171,577	9195377,68	0,423090735	0,317289749
5	698172	9195378	698171,937	9195376,75	0,06345198	1,25354746
6	698172	9195378	698172,077	9195375,84	-0,076937862	2,16447624
7	698173	9195378	698172,426	9195379,2	0,574448148	-1,197106561
8	698173	9195379	698174,422	9195380	-1,422127438	-1,00391734
9	698175	9195379	698172,571	9195379,91	2,428929199	-0,9135602
10	698177	9195379	698172,577	9195380,68	4,423090735	-1,682710251
11	698180	9195379	698172,937	9195380,75	7,06345198	-1,74645254
12	698183	9195377	698173,077	9195380,84	9,923062138	-3,83552376
13	698186	9195374	698185,426	9195375,2	0,574448148	-1,197106561
14	698188	9195372	698189,422	9195373	-1,422127438	-1,00391734
15	698191	9195369	698189,571	9195369,91	1,428929199	-0,9135602

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Handheld* Koordinat no 30-50

No	Koordinat <i>GPS Handheld</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
30	698238	9195318	698240,0769	9195314,836	-2,076937862	3,16447624
31	698241	9195314	698240,4256	9195315,197	0,574448148	-1,197106561
32	698245	9195310	698246,4221	9195311,004	-1,422127438	-1,00391734
33	698249	9195306	698248,5711	9195305,914	0,428929199	0,0864398
34	698252	9195302	698252,5769	9195301,683	-0,576909265	0,317289749
35	698256	9195298	698256,9365	9195296,746	-0,93654802	1,25354746
36	698259	9195295	698261,0769	9195291,836	-2,076937862	3,16447624
37	698262	9195292	698261,4256	9195293,197	0,574448148	-1,197106561
38	698265	9195289	698266,4221	9195290,004	-1,422127438	-1,00391734
39	698268	9195286	698267,5711	9195285,914	0,428929199	0,0864398
40	698272	9195283	698270,5769	9195282,683	1,423090735	0,317289749
41	698275	9195279	698273,9365	9195278,746	1,06345198	0,25354746
42	698278	9195276	698277,0769	9195274,836	0,923062138	1,16447624
43	698281	9195273	698280,4256	9195274,197	0,574448148	-1,197106561
44	698284	9195270	698285,4221	9195271,004	-1,422127438	-1,00391734
45	698287	9195267	698286,5711	9195266,914	0,428929199	0,0864398
46	698291	9195265	698289,5769	9195263,683	1,423090735	1,317289749
47	698294	9195262	698292,9365	9195259,746	1,06345198	2,25354746
48	698297	9195259	698296,0769	9195255,836	0,923062138	3,16447624
49	698300	9195255	698299,4256	9195256,197	0,574448148	-1,197106561
50	698302	9195252	698303,4221	9195253,004	-1,422127438	-1,00391734

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Handheld* Koordinat no 300-320

No	Koordinat <i>GPS Handheld</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
300	698651	9194370	698652,0769	9194366,836	-1,076937862	3,16447624
301	698651	9194365	698650,4256	9194366,197	0,574448148	-1,197106561
302	698651	9194360	698652,4221	9194361,004	-1,422127438	-1,00391734
303	698651	9194355	698650,5711	9194354,914	0,428929199	0,0864398
304	698651	9194351	698650,5769	9194349,683	0,423090735	1,317289749
305	698650	9194346	698650,9365	9194343,746	-0,93654802	2,25354746
306	698650	9194340	698651,0769	9194337,836	-1,076937862	2,16447624
307	698650	9194335	698649,4256	9194336,197	0,574448148	-1,197106561
308	698650	9194330	698651,4221	9194331,004	-1,422127438	-1,00391734
309	698650	9194325	698649,5711	9194324,914	0,428929199	0,0864398
310	698650	9194320	698649,5769	9194319,683	0,423090735	0,317289749
311	698650	9194315	698649,9365	9194313,746	0,06345198	1,25354746
312	698649	9194309	698650,0769	9194307,836	-1,076937862	1,16447624
313	698648	9194304	698647,4256	9194305,197	0,574448148	-1,197106561
314	698645	9194300	698646,4221	9194301,004	-1,422127438	-1,00391734
315	698642	9194297	698641,5711	9194295,914	0,428929199	1,0864398
316	698638	9194295	698638,5769	9194291,683	-0,576909265	3,317289749
317	698634	9194293	698635,9365	9194286,746	-1,93654802	6,25354746
318	698630	9194292	698633,0769	9194281,836	-3,076937862	10,16447624
319	698625	9194291	698624,4256	9194292,197	0,574448148	-1,197106561
320	698621	9194290	698622,4221	9194291,004	-1,422127438	-1,00391734

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Handheld* Koordinat no 950-970

No	Koordinat <i>GPS Handheld</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
950	698119	9195422	698120,4221	9195423,004	-1,422127438	-1,00391734
951	698124	9195423	698124,5711	9195422,914	-0,571070801	0,0864398
952	698130	9195424	698130,5769	9195423,683	-0,576909265	0,317289749
953	698136	9195426	698136,9365	9195423,746	-0,93654802	2,25354746
954	698143	9195427	698143,0769	9195423,836	-0,076937862	3,16447624
955	698149	9195429	698148,4256	9195430,197	0,574448148	-1,197106561
956	698155	9195430	698156,4221	9195431,004	-1,422127438	-1,00391734
957	698162	9195431	698160,5711	9195430,914	1,428929199	0,0864398
958	698169	9195432	698166,5769	9195431,683	2,423090735	0,317289749
959	698176	9195434	698172,9365	9195431,746	3,06345198	2,25354746
960	698182	9195435	698179,0769	9195431,836	2,923062138	3,16447624
961	698189	9195436	698188,4256	9195437,197	0,574448148	-1,197106561
962	698196	9195438	698197,4221	9195439,004	-1,422127438	-1,00391734
963	698203	9195439	698202,5711	9195439,914	0,428929199	-0,9135602
964	698210	9195440	698209,5769	9195441,683	0,423090735	-1,682710251
965	698216	9195440	698216,9365	9195442,746	-0,93654802	-2,74645254
966	698222	9195440	698224,0769	9195443,836	-2,076937862	-3,83552376
967	698228	9195441	698227,4256	9195442,197	0,574448148	-1,197106561
968	698233	9195441	698234,4221	9195442,004	-1,422127438	-1,00391734
969	698237	9195442	698237,5711	9195440,914	-0,571070801	1,0864398
970	698242	9195443	698242,5769	9195440,683	-0,576909265	2,317289749

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Handheld* Koordinat no 1066-1086

No	Koordinat <i>GPS Handheld</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
1066	698171	9195383	698170,5769	9195382,683	0,423090735	0,317289749
1067	698171	9195383	698170,9365	9195381,746	0,06345198	1,25354746
1068	698171	9195383	698171,0769	9195380,836	-0,076937862	2,16447624
1069	698171	9195383	698170,4256	9195384,197	0,574448148	-1,197106561
1070	698171	9195383	698172,4221	9195384,004	-1,422127438	-1,00391734
1071	698171	9195383	698170,5711	9195382,914	0,428929199	0,0864398
1072	698172	9195383	698170,5769	9195382,683	1,423090735	0,317289749
1073	698172	9195383	698170,9365	9195381,746	1,06345198	1,25354746
1074	698172	9195383	698171,0769	9195380,836	0,923062138	2,16447624
1075	698172	9195383	698171,4256	9195384,197	0,574448148	-1,197106561
1076	698172	9195383	698173,4221	9195384,004	-1,422127438	-1,00391734
1077	698172	9195383	698171,5711	9195382,914	0,428929199	0,0864398
1078	698172	9195383	698171,5769	9195382,683	0,423090735	0,317289749
1079	698171	9195383	698171,9365	9195381,746	-0,93654802	1,25354746
1080	698171	9195383	698172,0769	9195380,836	-1,076937862	2,16447624
1081	698171	9195383	698170,4256	9195384,197	0,574448148	-1,197106561
1082	698171	9195383	698172,4221	9195384,004	-1,422127438	-1,00391734
1083	698171	9195383	698170,5711	9195382,914	0,428929199	0,0864398
1084	698171	9195383	698170,5769	9195382,683	0,423090735	0,317289749
1085	698171	9195383	698170,9365	9195381,746	0,06345198	1,25354746
1086	698171	9195383	698171,0769	9195380,836	-0,076937862	2,16447624

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Geodetik* Koordinat no 1-20

No	Koordinat <i>GPS Geodetik</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
1	698170,417	9195379,813	698169,8426	9195381,01	0,574448148	-1,197106561
2	698170,414	9195379,813	698171,8361	9195380,817	-1,422127438	-1,00391734
3	698170,419	9195379,818	698169,9821	9195379,727	0,436929199	0,0914398
4	698170,42	9195379,816	698169,9849	9195379,496	0,435090735	0,320289759
5	698170,418	9195379,818	698170,3415	9195378,559	0,07645198	1,258547461
6	698170,406	9195379,79	698170,4789	9195377,649	-0,072937862	2,14147624
7	698170,407	9195379,785	698169,8326	9195380,982	0,574448148	-1,19710657
8	698170,396	9195379,786	698171,8181	9195380,79	-1,422127438	-1,00391734
9	698170,392	9195379,778	698169,9561	9195379,701	0,435929199	0,077439802
10	698170,405	9195379,789	698169,9509	9195379,471	0,454090735	0,318289751
11	698170,399	9195379,788	698170,2995	9195378,535	0,09945198	1,252547462
12	698170,395	9195379,785	698170,4289	9195377,626	-0,033937862	2,159476239
13	698170,391	9195379,785	698169,8166	9195380,982	0,574448148	-1,19710657
14	698170,393	9195379,775	698171,8151	9195380,779	-1,422127438	-1,00391734
15	698170,395	9195379,779	698169,9661	9195379,679	0,428929198	0,1004398
16	698170,394	9195379,782	698169,9739	9195379,438	0,420090735	0,34428975
17	698170,39	9195379,77	698170,3355	9195378,491	0,05445198	1,27854746
18	698170,39	9195379,777	698170,4779	9195377,571	-0,087937862	2,206476241
19	698170,381	9195379,773	698169,8066	9195380,97	0,574448148	-1,197106561
20	698170,384	9195379,775	698171,8061	9195380,779	-1,422127438	-1,00391734

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Geodetik* Koordinat no 650-670

No	Koordinat <i>GPS Geodetik</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
650	-	-	698655,3061	9194430,895	-	-
651	-	-	698653,2101	9194426,171	-	-
652	-	-	698652,9709	9194422,306	-	-
653	-	-	698653,0855	9194417,735	-	-
654	-	-	698652,9809	9194413,191	-	-
655	-	-	698653,2433	9194441,116	-	-
656	-	-	698654,8465	9194439,251	-	-
657	-	-	698652,6022	9194436,489	-	-
658	-	-	698652,2147	9194434,587	-	-
659	-	-	698652,1811	9194431,979	-	-
660	-	-	698651,9282	9194429,396	-	-
661	698652,03	9194428,109	698651,4556	9194429,306	0,574448148	-1,197106561
662	698651,997	9194425,972	698653,4191	9194426,976	-1,422127438	-1,00391734
663	698652,046	9194423,914	698651,5351	9194423,749	0,510929199	0,165439801
664	698651,575	9194420,936	698651,5079	9194421,381	0,067090735	-0,44471024
665	698651,428	9194418,527	698651,8345	9194418,307	-0,40654802	0,21954746
666	698651,249	9194416,193	698651,9419	9194415,26	-0,692937862	0,933476239
667	698651,201	9194414,016	698650,6266	9194415,213	0,574448148	-1,19710657
668	698651,28	9194412,225	698652,7021	9194413,229	-1,422127438	-1,00391734
669	698651,541	9194410,853	698650,9301	9194410,348	0,610929199	0,505439799
670	698651,485	9194408,454	698651,0149	9194408,326	0,470090735	0,128289759

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Geodetik* Koordinat no 1365-1385

No	Koordinat <i>GPS Geodetik</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
1365	-	-	697896,313	9194732,105	-	-
1366	-	-	697897,0951	9194733,56	-	-
1367	-	-	697898,2309	9194734,309	-	-
1368	-	-	697899,1475	9194735,083	-	-
1369	-	-	697893,5761	9194742,949	-	-
1370	-	-	697895,7809	9194744,415	-	-
1371	-	-	697894,138	9194744,984	-	-
1372	-	-	697894,3521	9194746,413	-	-
1373	-	-	697894,9199	9194747,136	-	-
1374	-	-	697895,2685	9194747,884	-	-
1375	697888,367	9194753,859	697887,7926	9194755,056	0,574448148	-1,197106561
1376	697886,988	9194755,386	697888,4101	9194756,39	-1,422127438	-1,00391734
1377	697885,544	9194757,049	697885,1801	9194756,827	0,363929199	0,222439801
1378	697884,003	9194758,585	697883,8069	9194758,123	0,196090735	0,462289751
1379	697882,564	9194760,245	697882,7875	9194758,713	-0,22354802	1,531547459
1380	697881,108	9194761,875	697881,5489	9194759,33	-0,440937862	2,545476239
1381	697879,535	9194763,459	697878,9606	9194764,656	0,574448148	-1,19710657
1382	697878,006	9194765,002	697879,4281	9194766,006	-1,422127438	-1,00391734
1383	697876,321	9194767,351	697876,0481	9194766,459	0,272929199	0,892439799
1384	697875,418	9194769,025	697874,5249	9194767,771	0,893090735	1,25428975
1385	697873,91	9194770,682	697873,3555	9194768,377	0,55445198	2,304547461

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Geodetik* Koordinat no 2000-2020

No	Koordinat <i>GPS Geodetik</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
2000	697626,424	9195164,461	697627,8461	9195165,465	-1,422127438	-1,00391734
2001	697626,383	9195166,647	697625,8221	9195166,466	0,560929199	0,1814398
2002	697625,184	9195169,252	697625,6549	9195168,326	-0,470909265	0,92628976
2003	697625,203	9195171,547	697625,8415	9195169,48	-0,63854802	2,066547461
2004	697625,343	9195173,935	697625,8089	9195170,661	-0,465937862	3,274476241
2005	697625,527	9195176,402	697624,9526	9195177,599	0,574448148	-1,19710657
2006	697625,651	9195178,9	697627,0731	9195179,904	-1,422127438	-1,00391734
2007	697625,779	9195181,414	697625,3461	9195181,312	0,432929199	0,1024398
2008	697625,743	9195183,927	697625,4759	9195183,579	0,267090735	0,348289749
2009	697625,624	9195186,448	697625,9595	9195185,14	-0,33554802	1,307547461
2010	697625,754	9195189,097	697626,2239	9195186,728	-0,469937862	2,369476238
2011	697625,711	9195191,796	697625,1366	9195192,993	0,574448148	-1,19710657
2012	697625,598	9195194,572	697627,0201	9195195,576	-1,422127438	-1,00391734
2013	697625,46	9195197,345	697625,0561	9195197,262	0,403929199	0,083439801
2014	697625,241	9195200,107	697624,9489	9195199,807	0,292090735	0,30028975
2015	697625,004	9195202,895	697625,1955	9195201,646	-0,19154802	1,248547459
2016	697624,764	9195205,646	697625,2229	9195203,512	-0,458937862	2,134476239
2017	697624,515	9195208,404	697623,9406	9195209,601	0,574448148	-1,197106561
2018	697624,253	9195211,187	697625,6751	9195212,191	-1,422127438	-1,003917338
2019	697623,982	9195213,908	697623,5621	9195213,884	0,419929199	0,024439801
2020	697623,755	9195216,618	697623,3059	9195216,436	0,449090735	0,182289751

Hasil Pengolahan *Kalman Filter GPS Geodetik* Koordinat no 2404-2424

No	Koordinat <i>GPS Geodetik</i>		Koordinat Prediksi		Selisih	
	X (meter)	Y (meter)	Xp (meter)	Yp (meter)	X-Xp (meter)	Y-Yp (meter)
2404	698184,48	9195410,513	698183,4649	9195410,33	1,015090735	0,18328975
2405	698183,355	9195408,657	698182,2545	9195407,614	1,10045198	1,042547459
2406	698182,343	9195406,726	698180,8249	9195404,925	1,518062138	1,80147624
2407	698181,502	9195404,683	698180,9276	9195405,88	0,574448148	-1,19710657
2408	698180,827	9195402,436	698182,2491	9195403,44	-1,422127438	-1,00391734
2409	698180,264	9195400,083	698179,7231	9195400,103	0,540929198	-0,019560199
2410	698179,895	9195397,7	698179,0539	9195397,625	0,841090735	0,075289749
2411	698179,696	9195395,404	698178,7385	9195394,441	0,95745198	0,962547459
2412	698179,697	9195393,211	698178,2039	9195391,284	1,493062138	1,927476238
2413	698179,757	9195391,071	698179,1826	9195392,268	0,574448148	-1,19710657
2414	698179,744	9195389	698181,1661	9195390,004	-1,422127438	-1,00391734
2415	698179,581	9195386,974	698179,3021	9195386,843	0,278929199	0,131439799
2416	698179,099	9195385,083	698179,2949	9195384,541	-0,195909265	0,54228976
2417	698178,154	9195383,567	698179,6415	9195381,533	-1,48754802	2,033547459
2418	698176,84	9195382,553	698179,7689	9195379,552	-2,928937862	3,001476239
2419	698175,509	9195381,923	698174,9346	9195383,12	0,574448148	-1,19710657
2420	698174,436	9195381,522	698175,8581	9195382,526	-1,422127438	-1,00391734
2421	698173,793	9195381,3	698172,9341	9195381,035	0,858929199	0,265439801
2422	698173,351	9195381,116	698171,8669	9195380,403	1,484090735	0,71328976
2423	698173,013	9195380,99	698171,1535	9195379,065	1,85945198	1,92454746
2424	698172,628	9195380,841	698170,2209	9195377,754	2,407062138	3,08747624

LAMPIRAN 3. Script Matlab Perhitungan Kalman Filter

```
clc,clear
load 'data_awan1.mat' %Load GPS Geodetik Data

% Make a point move in the 2D plane
% State = (x y xdot ydot). We only observe (x
y).

%Determine Variabel of GPS Data
yi=data_awan1(:,1);
xi=data_awan1(:,2);

% Data Iteration
for i=1:length(xi)-1
vx(i)=xi(i+1)-xi(i);
vy(i)=yi(i+1)-yi(i);
end

ss = 4; % state size
os = 2; % observation size
F = [1 0 1 0; 0 1 0 1; 0 0 1 0; 0 0 0 1]; %State
Transition Matrix
H = [1 0 0 0; 0 1 0 0]; %Measurement Function
Q = 0.1*eye(ss);%Process Noise
R = 1*eye(os);%Measurement Noise

%Determine the Time of Data Input
for h=1:floor(length(xi)/6)
initx=[xi(6*h-5)    yi(6*h-5)    vx(6*h-5)
vy(6*h-5)]';
initV = 15*eye(ss);
seed = 9;
rand('state', seed);
randn('state', seed);
T = 6;
[x,y] = sample_lds(F, H, Q, R, initx, T);
X=[x(1,:) ' x(2,:)'];
```

```

xx(h)=x(1);
xy(h)=x(2);

%Do the Kalman Filter
[xfilt, Vfilt, VVfilt, loglik] =
kalman_filter(y, F, H, Q, R, initx, initV);
[xsmooth, Vsmooth] = kalman_smoother(y, F, H, Q,
R, initx, initV);

%Compute the Diference and Compute the Error
dfilt = x([1 2],:) - xfilt([1 2],:);
mse_filt = sqrt(sum(sum(dfilt.^2)))

dsmooth = x([1 2],:) - xsmooth([1 2],:);
mse_smooth = sqrt(sum(sum(dsmooth.^2)))

%Ploting Result
hold on
plot(X(:,1), X(:,2), '*');
plot(xfilt(1,:), xfilt(2,:), 'rx:');
plot (xsmooth(1,:), xsmooth(2,:), 'g-');

%Make Legend for Figure Result
title ('Pengolahan Data Navigasi Wahana Dengan
Kalman Filter')
legend('observed', 'filtered', 2)
xlabel('X')
ylabel('Y')

%Show the Data Result in Coordinates Form
A (:,h)=xfilt(1,:);
B (:,h)=xfilt(2,:);
C (:,h)=xsmooth(1,:);
D (:,h)=xsmooth(2,:);

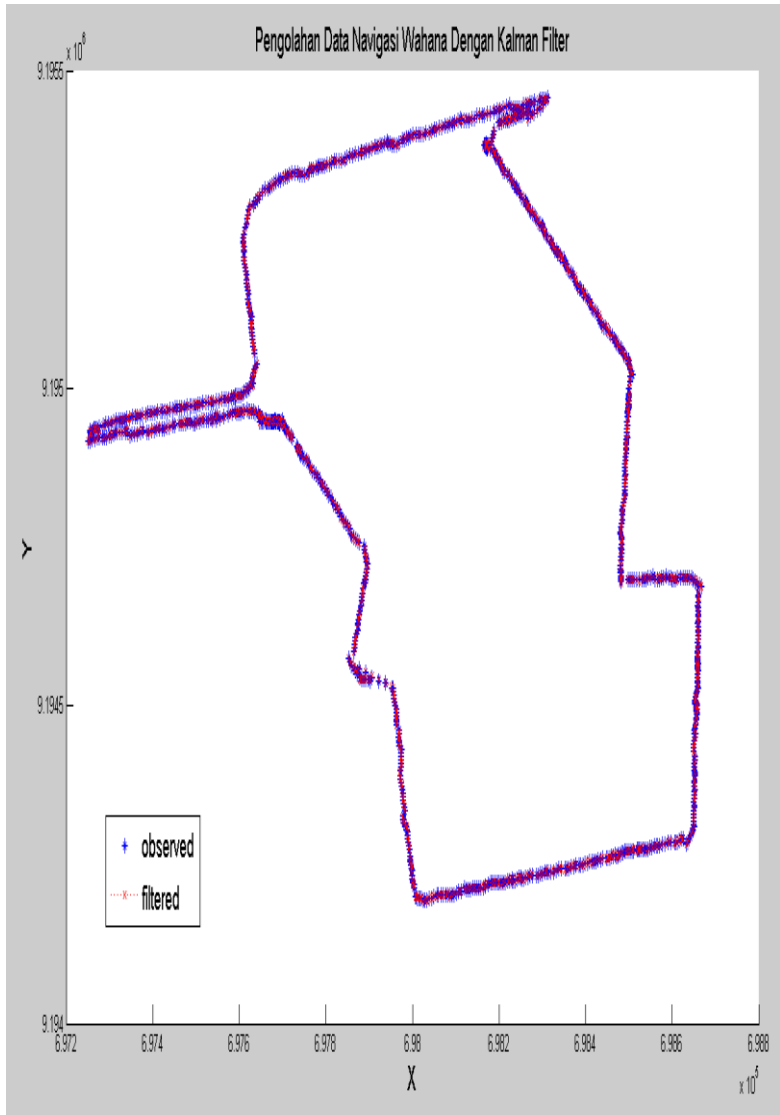
end

```

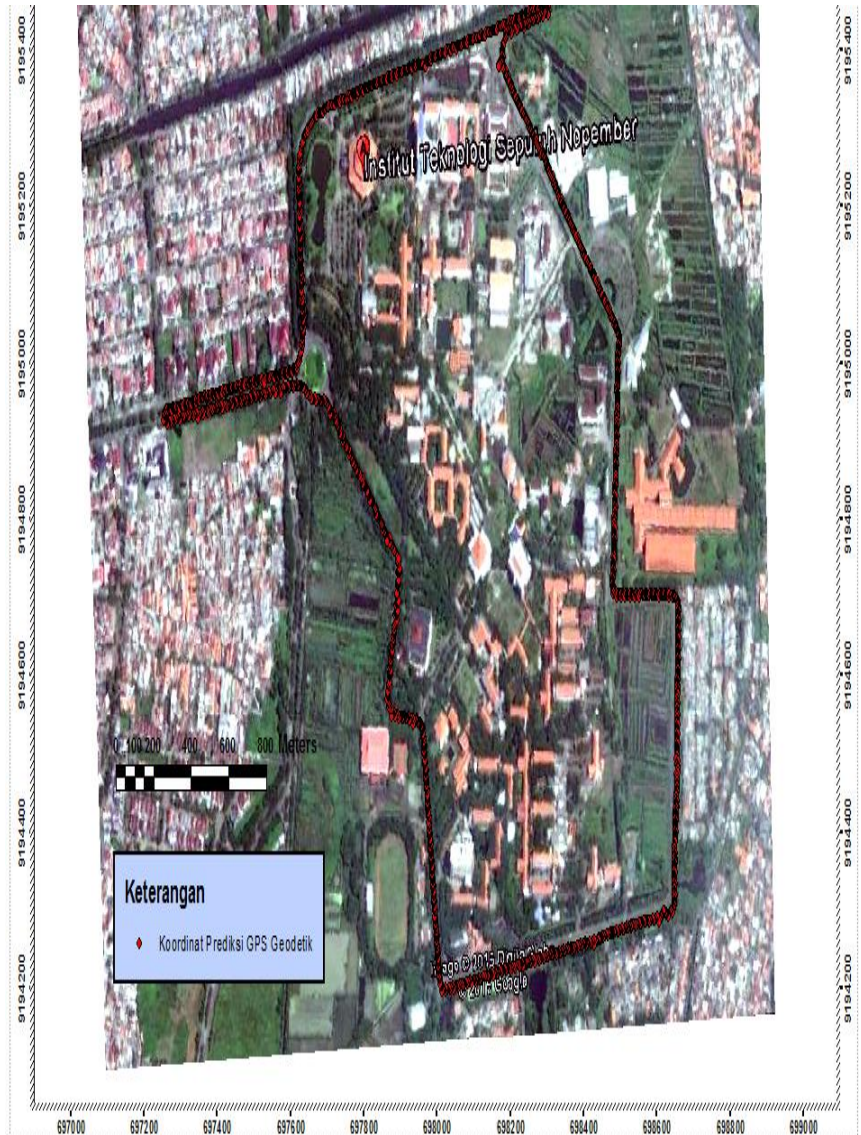
LAMPIRAN 4. Hasil Pengolahan Koordinat *GPS Geodetic* di *Matlab*



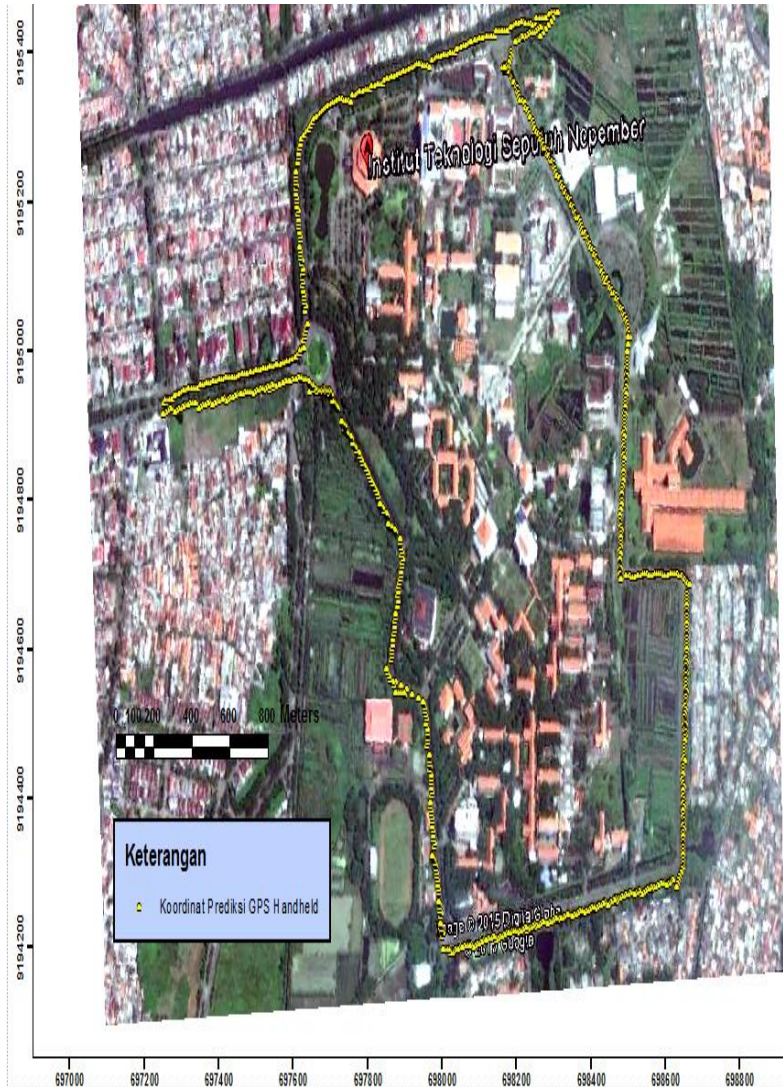
LAMPIRAN 5. Hasil Pengolahan Koordinat *GPS Handheld* di *Matlab*



LAMPIRAN 6. Hasil *Plotting* Koordinat Prediksi GPS Geodetik



LAMPIRAN 7. Hasil *Plotting* Koordinat Prediksi GPS Handheld





Gambar 3: Melakukan setting alat pada wahana yang bertindak sebagai *rover*

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tabanan, 7 Desember 1992, yang merupakan anak tunggal dari keluarga yang sederhana. Telah mengenyam pendidikan formal di TK Widya Sabha Wongayagede, SD No 1 Wongayagede, SMP 2 Tabanan dan terakhir lulus dari SMA N 1 Tabanan. Setelah lulus dari SMA, memilih melanjutkan pendidikan dengan kuliah di S1 Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dan diterima pada tahun 2011. Semasa kuliah penulis aktif menjadi panitia acara dan dalam berorganisasi. Pernah menjadi Staf Departemen Hubungan Masyarakat (Humas) TPKH-ITS, dan Staf Hubungan Luar (Hublu) BEM FTSP periode 2012-2013. Menjadi Kepala Divisi Minat Bakat HIMAGE-ITS pada periode 2013-2014. Dalam bidang akademik penulis pernah menjadi asisten mata kuliah kemah kerja tahun 2015. Penulis mengambil bidang keahlian positioning dengan kajian navigasi wahana dengan menggunakan satelit GPS dalam penulisan Tugas Akhir ini.