



Pengembangan Metode Rekonstruksi Jalan Berbasis Data *Global Positioning System* dan Giroskop

Ignatius Pulung Nurprasetyo^{1*}, Bentang Arief Budiman^{1,2}, Kelvin Noersalim¹,
Rifqi Syuja Naufal¹

¹Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara

²Pusat Pengembangan Teknologi Transportasi Berkelanjutan
Institut Teknologi Bandung, Jln Ganesha no. 10, Bandung 40132, Indonesia

*Email: ipn@ftmd.itb.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode rekonstruksi jalan yang efektif dan berbiaya murah. Jalan kendaraan bermotor yang direkonstruksi adalah Jalan E ITB yang memiliki karakteristik tanjakan, belokan, dan kemiringan. Dua parameter penting yaitu posisi dan kemiringan jalan diukur bersamaan menggunakan sensor *Global Positioning System* (GPS) dan sensor giroskop, yang dipasang pada mikrokontroler komersial Arduino. Perangkat tersebut ditempelkan pada *trolley* yang berperan sebagai kendaraan. Saat *trolley* didorong, sensor GPS dan giroskop mencatat posisi dan kemiringan dari *trolley* pada interval waktu tertentu. Data dari kedua sensor tersebut kemudian diolah sehingga menghasilkan posisi dalam ruang 3 dimensi dan sudut kemiringan jalan. Data pengukuran posisi dan sudut kemiringan dari perangkat yang dibuat juga dibandingkan dengan data yang diperoleh dari gawai Android komersial yang mempunyai sensor GPS dan giroskop. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa gawai Android dapat mengukur posisi dan sudut kemiringan lebih baik daripada perangkat yang dikembangkan. Lebih lanjut, dengan menggunakan data posisi dan sudut kemiringan yang telah diukur, rekonstruksi jalan E ITB secara digital menggunakan perangkat lunak komersial CarSim telah sukses dilakukan. Data digital rekonstruksi jalan tersebut dapat digunakan untuk mensimulasikan kondisi kecelakaan, menentukan perilaku berkendara, hingga memetakan kerusakan/ketidaksesuaian jalan yang dapat berbahaya bagi pengendara.

Kata Kunci: *carsim, data jalan digital, GPS dan giroskop, rekonstruksi jalan.*

1 Pendahuluan

Sejak tahun 2011, angka kecelakaan kendaraan di Indonesia selalu berada pada kisaran 100.000 kasus setiap tahunnya dengan tingkat fatalitas yang terus meningkat [1, 2]. Salah satu penyebab kecelakaan tersebut adalah buruknya infrastruktur jalan. Selain itu, perilaku berkendara pengemudi juga menjadi faktor lain yang dapat meningkatkan angka kecelakaan [3, 4]. Untuk mengurangi resiko kecelakaan berkendara, setiap kasus kecelakaan yang terjadi biasanya

direkonstruksi ulang dengan seksama sehingga penyebab kecelakaan dapat terungkap [5].

Telah banyak perangkat lunak komersial yang dapat mensimulasikan kecelakaan kendaraan seperti CarSim, Simpack, Adams, dan PC-Crash [6]. Kebanyakan hasil simulasi dapat menjelaskan dengan detail penyebab masing-masing kecelakaan. Contohnya, McHenry dkk. berhasil mensimulasikan kecelakaan tunggal pada kendaraan [7], Wang dkk. berhasil merekonstruksi kecelakaan tabrakan antara mobil dan motor listrik [8], atau Zou dkk. yang mampu memprediksi tingkat cedera pada pengemudi saat kecelakaan mobil terjadi menggunakan simulasi [9].

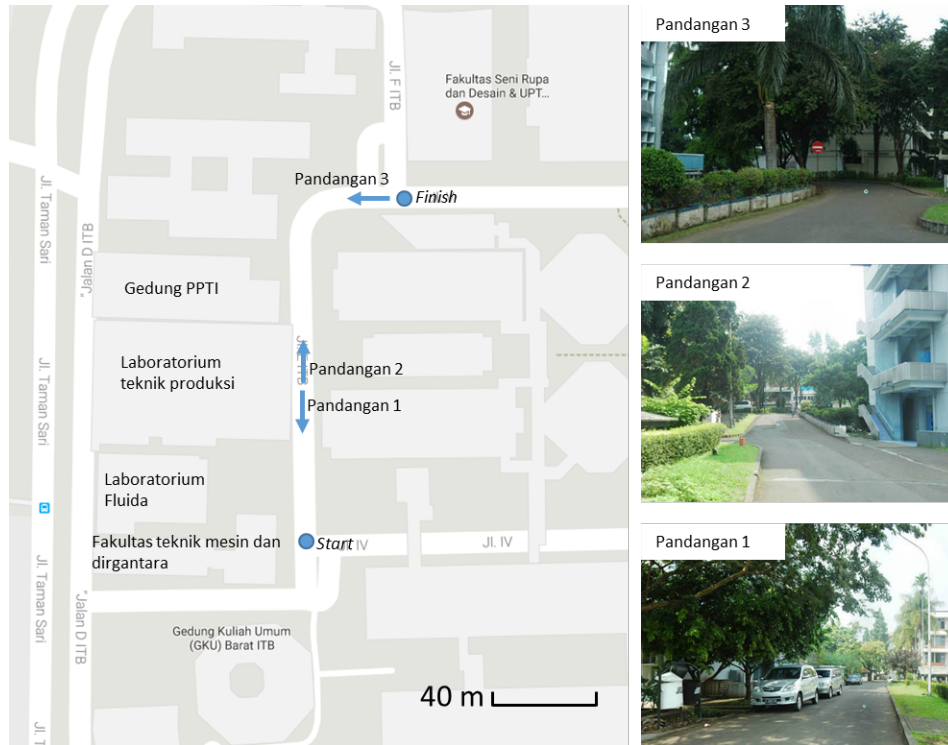
Pada kasus kecelakaan-kecelakaan tersebut, berbagai parameter yang mendukung simulasi kecelakaan perlu diukur dengan akurasi tinggi sehingga hasil simulasi dapat mewakili kejadian kecelakaan yang sebenarnya. Namun demikian, penyebab kecelakaan biasanya dipengaruhi oleh banyak parameter sehingga simulasi kecelakaan sangat sulit dilakukan. Salah satu parameter utama adalah data kontur jalan tempat kejadian kecelakaan, yang perlu diukur dengan akurat sehingga hasil simulasi kecelakaan dapat menggambarkan situasi kecelakaan yang sebenarnya. Sayangnya, penelitian tentang metode pengambilan data kontur jalan masih sangat sedikit dilakukan.

Pada makalah ini, kami mengusulkan metode untuk pengambilan data kontur jalan yang dapat digunakan untuk simulasi kecelakaan, beserta pengembangan perangkat akusisinya. Data kontur jalan berupa dua parameter yaitu posisi dan kemiringan jalan masing-masing diukur menggunakan sensor *Global Positioning System* (GPS) dan sensor giroskop. Dua perangkat yaitu gawai Android komersial dan perangkat yang dirakit dari komponen mikrokontroler Arduino beserta sensor GPS dan giroskop digunakan untuk mengukur kedua parameter tersebut. Hasil pengukuran dari kedua perangkat tersebut selanjutnya dibandingkan. Lebih lanjut, rekonstruksi jalan menggunakan perangkat lunak CarSim juga dilakukan.

2 Metode Rekonstruksi Jalan

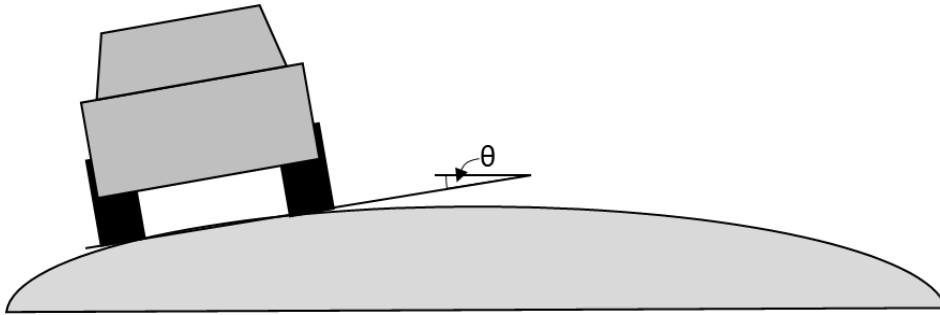
2.1 Pemilihan jalan yang direkonstruksi

Pada penelitian ini, jalan E ITB digunakan sebagai contoh untuk direkonstruksi. Jalan E ITB dipilih setelah mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut: (1) Jalan memiliki tanjakan yang relatif curam dengan ketinggian 3 meter dalam jarak 30 meter, (2) Jalan memiliki belokan 90° dengan radius belok yang relatif sempit, (3) Jalan memiliki kemiringan yang cukup besar, dan (4) Jalan tersebut dapat dilewati kendaraan mobil. Gambar 1 memperlihatkan kondisi jalan E ITB. Panjang jalan yang diuji adalah 150 meter diukur dari posisi *start* sampai *finish*.



Gambar 1. Peta jalan E ITB dilihat dari Google Maps dan situasi jalannya berupa tanjakan dan belokan

Untuk dapat merekonstruksi jalan, dua parameter penting yang perlu diambil adalah posisi dan sudut kemiringan jalan (θ). Posisi dapat diukur menggunakan sensor GPS sedangkan sudut kemiringan dapat diukur menggunakan sensor giroskop. Kedua sensor tersebut ditempatkan pada kendaraan ukur sehingga pengambilan kedua data dapat dilakukan bersamaan. Gambar 2 menunjukkan pengertian sudut kemiringan jalan yang diukur. Perlu dicatat, kemiringan jalan merupakan komponen yang menentukan kenyamanan berkendara. Saat kondisi jalan lurus, suatu jalan diharapkan berbentuk tidak terlalu cembung sehingga tidak menimbulkan ketidakstabilan pada kendaraan. Namun pada saat berbelok, kemiringan jalan sangat penting untuk melawan gaya sentrifugal, suatu gaya yang dihasilkan kendaraan akibat kecepatannya dan dapat menjadi penyebab kendaraan terguling. Banyak kecelakaan telah terjadi akibat ketidaksesuaian kemiringan jalan.



Gambar 2. Gambar skematik pengertian sudut kemiringan jalan (θ)

2.2 Pengembangan perangkat akuisisi data jalan

Perangkat akuisisi data jalan dibuat dengan dua sensor utama yakni sensor GPS Ublox NEO-6M untuk membaca posisi yang dilewati dan sensor Girooskop MPU-6050 untuk mengukur kemiringan jalan. Pencatatan kedua data ini merupakan syarat minimal yang diperlukan untuk melakukan pemetaan jalan. Data yang telah tercatat selanjutnya dipakai untuk melakukan rekonstruksi dengan perangkat lunak CarSim. Untuk mengoperasikan sensor-sensor tersebut, mikrokontroler komersial Arduino digunakan. Sebuah SD Card Shield untuk menyimpan data yang diambil dari sensor-sensor juga dipasang pada mikrokontroler. Pada perangkat ini, pengambilan data dirancang untuk dicatat setiap 150 ms atau pada frekuensi 6,67 Hz, disesuaikan Sintaks *delay* dari program Arduino yang dipakai. Nilai 150 ms juga dipakai agar didapatkan data yang cukup akurat.

Sebelum digunakan, sensor girooskop diuji keakuratan dalam membaca sudut kemiringan. Pengujian dilakukan dengan meletakkan sensor Girooskop pada suatu wadah yang diputar -90° (searah jarum jam) dan 90° (berlawanan arah jarum jam). Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali sesuai dengan rekomendasi Hsu dkk. [10]. Pada sensor girooskop MPU-6050 terdapat juga sensor akselerometer didalamnya sehingga dapat dipakai bersamaan untuk mendapatkan nilai sudut yang cukup akurat. Perhitungan sudut dengan kombinasi girooskop dan akselerometer menggunakan persamaan 1 sebagai berikut,

$$\theta = \varepsilon \cdot \theta_{gir} + (1 - \varepsilon) \cdot \theta_{aks} \quad (1)$$

Dengan,

$$\varepsilon = T / (\Delta t + T) \quad (2)$$

dimana T adalah konstanta waktu dan Δt adalah waktu pengambilan sampel data. Pada pengujian ini, T menyesuaikan program Arduino yaitu 1 s dan Δt

menyesuaikan sintaks *delay* yaitu 150 ms sehingga nilai dari ϵ sebesar 0,87. Selanjutnya, sensor giroskop dipasangkan ke mikrokontroler Arduino untuk dapat dilakukan pengujian. Hasil pengujian sensor giroskop MPU-6050 dapat dilihat di Tabel 1. Galat rata-rata yang dihasilkan dari sensor tersebut kurang dari 5% yang berarti sensor tersebut dapat digunakan untuk mengukur kemiringan jalan dengan akurasi yang tinggi.

Tabel 1 Data Hasil Pengujian MPU-6050.

No.	Sudut putar wadah -90°	Galat (%)	Sudut putar wadah 90°	Galat (%)
1	-88	2,22	90,3	0,33
2	-89,4	0,67	89,94	0,07
3	-91,53	1,7	89,26	0,82
4	-87,64	2,62	88,97	1,14
5	-87,53	2,74	88,41	1,77
6	-89,01	1,1	87,73	2,52
7	-87,46	2,82	88,09	2,12
8	-89,96	0,04	90,1	0,11
9	-87,77	2,48	92,31	2,57
10	-88,34	1,84	90,51	0,57
Rata-rata	-88,66	1,64	89,56	1,2

2.3 Penggunaan gawai Android

Dengan terus berkembangnya teknologi, sensor GPS dan giroskop sebenarnya juga terpasang pada gawai Android. Pada penelitian ini, gawai Android jenis Samsung Galaxy Tab S digunakan karena memiliki akurasi GPS yang tinggi [11]. Sensor-sensor tersebut digunakan untuk menunjang berbagai aplikasi perangkat lunak seperti aplikasi permainan, telekomunikasi, dan lain sebagainya. Mengingat produk gawai Android yang telah diproduksi secara masal, tentunya setiap komponen dibuat dengan standard yang tinggi. Pada penelitian ini, gawai Android juga digunakan untuk mengukur posisi dan kemiringan jalan. Dua aplikasi yang perlu dipasang pada gawai Android yaitu Mytracks untuk membaca data dari sensor GPS dan Sensor Kinetics Pro untuk membaca data dari sensor giroskop. Hasil dari pengukuran dengan gawai Android selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran dari perangkat yang sebelumnya dibuat.

Uji keakuratan sensor giroskop pada gawai Android dalam membaca sudut kemiringan juga dilakukan dengan metode yang sama, yaitu dengan memutar giroskop -90° (searah jarum jam) dan 90° (berlawanan arah jarum jam) sebanyak 10 kali. Hasil pengujian sensor giroskop ditampilkan pada Tabel 2. Seperti dapat dilihat, galat rata-rata yang terukur masih menunjukkan dibawah batas 5%, yang

berarti sensor giroskop pada gawai Android cukup akurat membaca sudut kemiringan.

Tabel 2 Hasil pengujian sensor giroskop pada gawai Android.

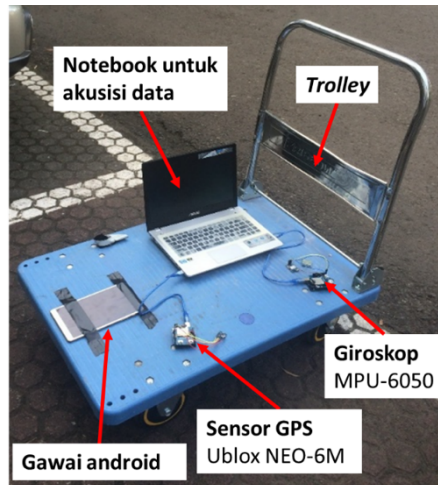
No.	Sudut putar wadah -90°	Galat (%)	Sudut putar wadah 90°	Galat (%)
1	-90.63	0.7	90.95	1.06
2	-87.34	2.96	90.92	1.02
3	-90.74	0.82	91.47	1.63
4	-90.57	0.63	91.18	1.31
5	-89.64	0.4	90.84	0.94
6	-90.58	0.65	91.74	1.94
7	-87.16	3.16	90.48	0.53
8	-89.71	0.33	90.36	0.4
9	-91.57	1.75	91.25	1.39
10	-90.40	0.45	91.01	1.12
Rata-rata	-89.83	1.18	91.02	1.13

3 Hasil Pengujian dan pembahasan

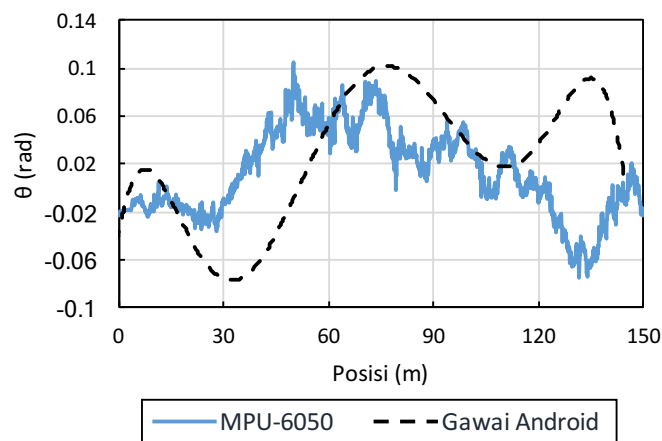
3.1 Perbandingan hasil pengukuran

Pengukuran posisi dan sudut kemiringan jalan E ITB dilakukan menggunakan *trolley* sebagai pengganti kendaraan. Gambar 3 memperlihatkan susunan perangkat pada *trolley*. Sensor GPS Ublox NEO-6M, Giroskop MPU-6050, dan gawai Android mengukur posisi dan sudut kemiringan jalan secara bersamaan. Data dari sensor GPS dan Giroskop disimpan pada notebook sedangkan data pengukuran pada gawai Android dapat disimpan langsung pada hardisk didalamnya.

Gambar 4 menunjukan hasil pengukuran sudut kemiringan untuk setiap posisi jalan yang diperoleh dari sensor giroskop MPU-6050 dan gawai Android. Dapat terlihat bahwa data dari MPU-6050 tidak terlihat halus. Hal ini besar kemungkinan disebabkan oleh roda *trolley* yang bergetar karena jalan yang tidak mulus, sehingga data *noise* terukur oleh sensor giroskop tersebut. Pada sisi lain, data yang diperoleh dari gawai Android terlihat halus karena terdapat sistem filter di dalamnya. Meskipun demikian, *trend* sudut kemiringan yang diukur dari kedua alat tersebut mempunyai kesamaan.

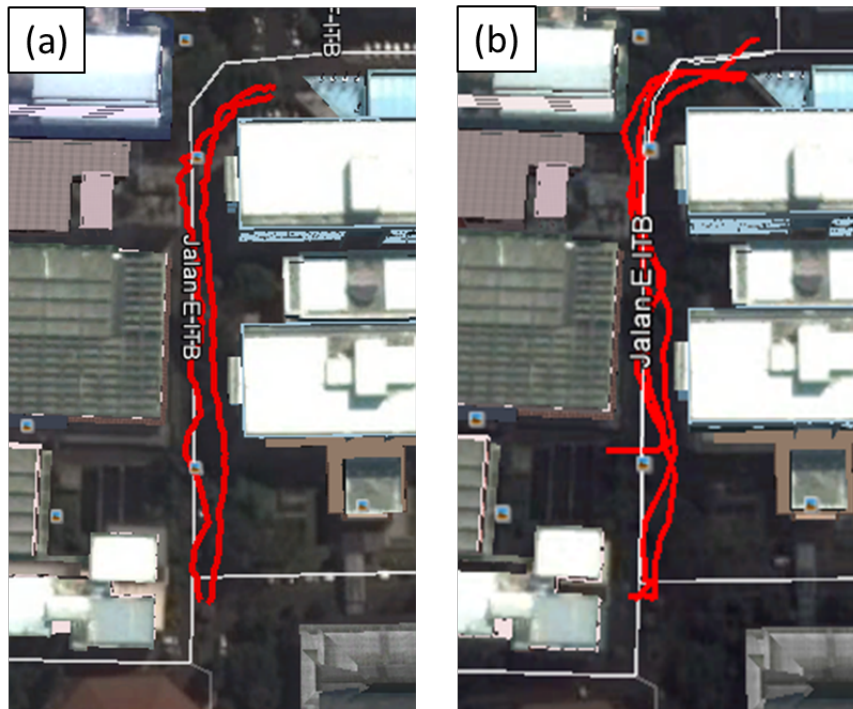


Gambar 3. Gawai Android, sensor GPS dan giroskop yang terpasang pada *trolley*



Gambar 4. Sudut kemiringan yang diperoleh dari sensor giroskop dan gawai Android

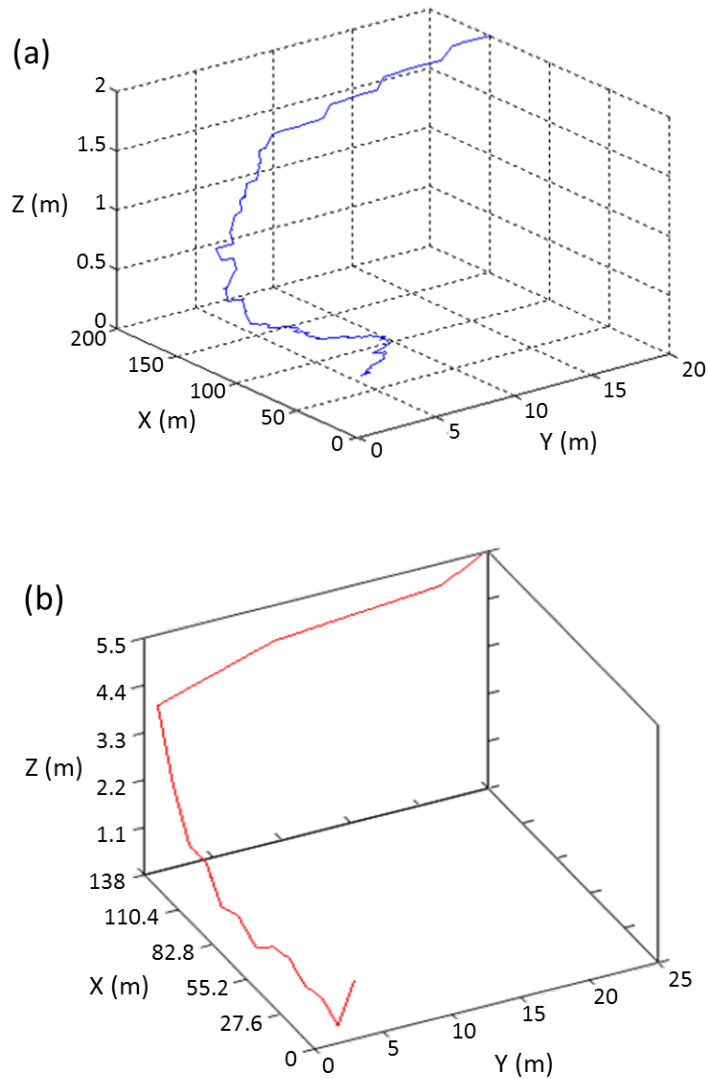
Gambar 5 menunjukkan *tracking* Jalan E ITB yang diperoleh dari pengukuran posisi menggunakan sensor GPS Ublox NEO-6M dan gawai Android. Seperti terlihat pada gambar, kedua perangkat dapat mendeteksi posisi khususnya pada saat berbelok. Semua data yang diperoleh dari kedua perangkat sudah dalam bentuk digital sehingga tidak memerlukan perangkat lunak *converter* untuk dapat diolah.



Gambar 5. Hasil uji pencatatan data posisi menggunakan sensor GPS Ublox NEO-6M (a) dan gawai Android (b)

Perlu dicatat bahwa untuk mendapatkan nilai ketinggian secara diskrit, data yang diperoleh dari sensor GPS Ublox NEO-6M perlu diolah juga dengan perangkat lunak GPS Visualizer. Sebaliknya, dengan menggunakan aplikasi Mytracks, data ketinggian dari gawai Android dapat langsung diperoleh.

Setelah mendapatkan data koordinat dan ketinggian baik dari gawai Android dan sensor GPS Ublox NEO-6M, data tersebut diubah ke dalam satuan meter. Data yang perlu dikonversi hanya data koordinat lintang (latitude) dan bujur (longitude) sedangkan data ketinggian sudah dalam satuan meter. Pengubahan data koordinat menjadi meter dilakukan mengacu pada tabel konversi yang diperkenalkan oleh Zerr [12]. Jalan E ITB berada pada 6.88° lintang selatan. Berdasarkan tabel konversi Zerr, nilai panjang lintasan per satuan sudut untuk bujur dan lintang adalah 110581,19 m dan 110521,17 m. Setelah data koordinat dikonversi, posisi jalan E ITB berdasarkan data sensor GPS Ublox NEO-6M dan gawai Android diplot dalam ruang 3 dimensi seperti pada Gambar 6.



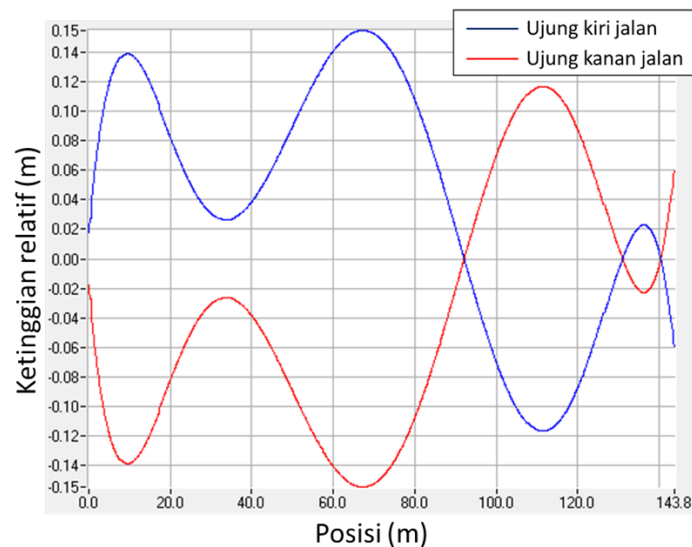
Gambar 6. Posisi *trolley* yang tercatat pada ruang 3 dimensi menggunakan sensor GPS (a) dan gawai Android (b)

Dari Gambar 6 dapat terlihat bahwa kedua perangkat dapat mendeteksi tanjakan dan belokan pada jalan E ITB. Panjang jalan E ITB dapat diukur dengan baik oleh kedua perangkat tersebut. Namun demikian terdapat perbedaan angka ketinggian yang cukup mencolok. Data dari sensor GPS Ublox NEO-6M menunjukkan ketinggian jalan hanyalah 2 meter, sedangkan data dari gawai

Android menunjukkan ketinggian jalan mencapai 5 meter. Perlu dicatat bahwa ketinggian jalan E ITB adalah 3 meter. Kesalahan mungkin terjadi dalam menentukan ketinggian jalan baik pada aplikasi GPS Visualizer maupun aplikasi Mytracks. Pada kenyataannya, menentukan ketinggian jalan berdasarkan data dari GPS cukup sulit dilakukan. Tingkat akurasi penggunaan data GPS masih perlu diuji lebih lanjut.

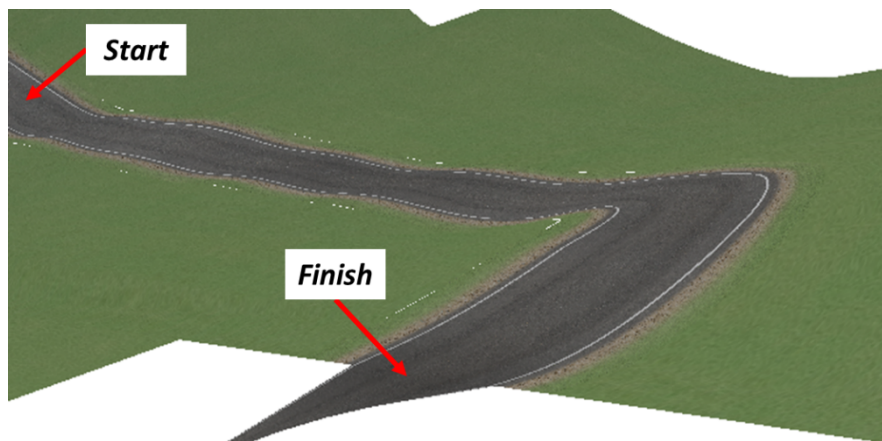
3.2 Rekonstruksi jalan menggunakan CarSim

Data sudut kemiringan jalan dan posisi dari gawai Android yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan 6b digunakan sebagai dasar pembuatan rekonstruksi jalan. Hal ini dilakukan karena data dari gawai Android cenderung lebih halus sehingga memudahkan pembuatan rekonstruksi jalan. Input data dilakukan dengan memasukan data X, Y, dan Z ke dalam program CarSim. Setelah data kurva dalam ruang 3 dimensi dimasukan, terlihat gambaran visual dari garis tengah jalan pada program CarSim. Selanjutnya, data sudut kemiringan yang didapat dari aplikasi Sensor Kinetic Pro diolah menjadi ketinggian ujung kiri dan kanan jalan relatif terhadap garis tengah jalan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan prinsip trigonometri sederhana dengan mengasumsikan kemiringan jalan adalah linear dengan lebar jalan 3 m. Gambar 7 menunjukkan kurva ketinggian relatif tersebut.



Gambar 7. Ketinggian relatif ujung kiri dan kanan jalan

Setelah nilai ketinggian kedua ujung jalan didapatkan, data tersebut dimasukkan sebagai input program CarSim bersamaan dengan data garis tengah jalan. Dari data tersebut, program CarSim dapat merekonstruksi jalan sesuai dengan data yang telah dimasukkan. Hasil visual rekonstruksi jalan menggunakan program CarSim ditunjukkan pada Gambar 8. Dibandingkan dengan kondisi aktual jalan E ITB yang ditunjukkan pada Gambar 1, hasil rekonstruksi jalan menggunakan program CarSim terlihat mendekati kondisi sebenarnya. Rekonstruksi jalan ini dapat digunakan untuk mensimulasikan kendaraan berjalan untuk kepentingan strategi berkendara maupun simulasi kecelakaan lalu lintas pada jalan tersebut.



Gambar 8. Hasil rekonstruksi jalan E ITB menggunakan perangkat lunak CarSim

4 Kesimpulan

Rekonstruksi jalan untuk mendukung data simulasi kecelakaan telah diperlihatkan pada makalah ini. Metode rekonstruksi jalan menggunakan dua parameter utama yaitu posisi yang diukur menggunakan GPS dan sudut kemiringan yang diukur menggunakan giroskop. Dua perangkat yaitu gawai Android, dan perangkat yang dirakit menggunakan sensor GPS dan giroskop digunakan untuk mengukur posisi dan sudut kemiringan. Kedua perangkat menunjukkan hasil yang memuaskan, dibuktikan dengan kedekatan data yang diperoleh. Selanjutnya, contoh penggunaan data jalan untuk rekonstruksi jalan menggunakan perangkat lunak CarSim juga diperlihatkan. Hasil yang diperoleh menunjukkan perangkat sederhana yang dirakit maupun gawai Android komersial dapat digunakan untuk mengukur posisi dan sudut kemiringan jalan dengan akurasi relatif baik. Namun demikian, penggunaan data GPS untuk mengukur ketinggian jalan masih memerlukan pengujian dan analisis lebih lanjut agar memperoleh hasil yang lebih akurat.

Referensi

- [1] Badan pusat Statistik, *Jumlah Kecelakaan, Koban Mati, Luka Berat, Luka Ringan, dan Kerugian Materi yang Diderita Tahun 1992-2015*, <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1134>, (21 Januari 2017).
- [2] Santosa, S. P., Mahyuddin, A. I., Sunoto, F. G., *Anatomy of injury severity and fatality in Indonesian traffic accidents*, **49**, pp. 412-422, 2017.
- [3] Herrero-Fernández, D. & Fonseca-Baeza, S., *Angry thoughts in Spanish drivers and their relationship with crash-related events. The mediation effect of aggressive and risky driving*, *Accident Analysis & Prevention*, **106**, pp. 99-108, 2017.
- [4] Jusuf, A., Nurprasetio, I. P., Prihutama, A. *Macro data analysis of traffic accidents in Indonesia*, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, **49**, pp. 132-143, 2017.
- [5] Steffan, H., *Accident reconstruction methods*, *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, **47**, pp. 1049-1073, 2009.
- [6] Moser, A., Steffan, H., Spek, A., & Makkinga, W., *Application of the Monte Carlo Methods for Stability Analysis within the Accident Reconstruction Software PC-CRASH*, SAE Technical Paper 2003-01-0488, 2003.
- [7] McHenry, R., Segal, D., Deleys, N., *Computer Simulation of Single Vehicle Accidents*, SAE Technical Paper 670904, 1967.
- [8] Wang, S., Qian, Y., Qu, X., *Reconstruction of Car-Electric Bicycle Side Collision Based on PC-Crash*, *Journal of Transportation Technologies*, **4**, pp. 355-364, 2014.
- [9] Zou, D. H., Li, Z. D., Shao, Y., Feng, H, Chen, J. G., Liu, N. G., Huang, P., Chen Y. J., *Numerical Reconstruction and Injury Biomechanism in a Car-Pedestrian Crash Accident*, *PubMed Journals*, **28 (6)**, pp. 401-407, 2012.
- [10] Hsu, H. H., Peng, W. J., Shih, T. H., Pai, T. W., Man, K. L., *Smartphone Indoor Localization with Accelerometer and Gyroscope*, 17th International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS), IEEE Xplore, pp. 465-469, 2014.
- [11] Menard, T., Miller, J., Nowak, M. & Norris, D., *Comparing the GPS Capabilities of the Samsung Galaxy S, Motorola Droid X, and the Apple Iphone for Vehicle Tracking Using FreeSim_Mobile*, 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), IEEE Xplore, pp. 985-990, 2011.
- [12] Zerr, G. B. M., *The Length of a Degree of Latitude and Longitude for any Place*. *The American Mathematical Monthly*, pp. 60-61, 1901.