

# PERANCANGAN APLIKASI PENDETEKSI KUALITAS JALAN MEMANFAATKAN ACCELEROMETER DAN PHOTO TAGGING BERBASIS ANDROID PADA CV. NGESTI UTAMA

Hadi Nurdin<sup>1</sup>, Eko Budi Setiawan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Teknik Informatika-Universitas Komputer Indonesia  
Jl. Dipatiukur 112-114 Bandung  
E-mail: hadinurdin99@gmail.com<sup>1</sup>, eko@email.unikom.ac.id<sup>2</sup>

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang sangat pesat mempengaruhi manusia dalam menjalankan hampir semua pekerjaan dengan memanfaatkan teknologi, hal ini karena dapat mempermudah dan mempersingkat waktu pekerjaan dan biaya yang dikeluarkan menjadi lebih sedikit. Begitupun pada kegiatan survey proyek konstruksi jalan yang dilakukan oleh CV.Ngesti Utama, berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan dengan pegawai penanggung jawab pelaksana lapangan menilai masih memakan banyak waktu serta beban biaya yang besar saat melakukan kegiatan survey lokasi proyek konstruksi jalan. Sebagai perusahaan yang bergerak di bidang jasa konstruksi, CV.Ngesti Utama menjadi lokasi studi kasus untuk menerapkan aplikasi berbasis android sebagai pendeteksi kualitas jalan memanfaatkan *Accelerometer* dan *Photo Tagging* dalam proses kegiatan konstruksi jalan khususnya kegiatan survey kondisi jalan pra-konstruksi. *Smartphone* dengan aplikasi pendeteksi kualitas jalan dipasangkan pada kendaraan mobil menggunakan *phone holder* untuk merekam guncangan yang terjadi selama kendaraan melaju berdasarkan kondisi jalan yang dilalui oleh kendaraan serta aplikasi dapat memfoto kondisi jalan yang rusak dan mengetahui titik lokasi kondisi jalan berdasarkan GPS.

**Kata kunci :** *Accelerometer*, *Photo Tagging*, GPS, Kendaraan

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

CV. Ngesti Utama merupakan perusahaan yang bergerak di bidang jasa konstruksi berlokasi di Ngestiharjo Wates, Kab. Kulon Progo, D.I Yogyakarta. Proyek yang biasa ditangani oleh CV. Ngesti Utama meliputi pembangunan jalan, rekonstruksi jalan, dan pembangunan gedung.

Dalam pelaksanaan proyek konstruksi, memerlukan persiapan yang sangat matang agar pada saat proses pelaksanaan proyek berjalan dengan baik tanpa hambatan, maka dari itu sebelum melaksanakan sebuah proyek, kontraktor harus melakukan survey lapangan atau mengetahui terlebih dahulu seluruh kondisi lokasi kegiatan proyek agar dapat tergambar bagaimana penanganan yang seharusnya dilakukan

oleh perusahaan dan akan berpengaruh pada rencana biaya yang akan dikeluarkan saat berlangsungnya sebuah proyek.

Berdasarkan hasil wawancara dengan Bapak Suropto pada tanggal 7 Agustus 2018 selaku penanggung jawab pelaksana lapangan CV.Ngesti Utama ditemukan sebuah masalah, Setelah melaporkan kondisi jalan berupa foto, petugas masih merasa kesulitan dalam mengetahui lokasi atau nama jalan yang teridentifikasi rusak, karena laporan jalan rusak tidak menyertakan nama jalan atau lokasi, masih dalam bentuk foto-foto yang tersimpan di penyimpanan atau galeri *smartphone*, hal ini mengakibatkan penyusunan foto dokumentasi proyek menjadi tidak teratur, petugas harus mensortir terlebih dahulu foto-foto proyek terkait yang telah dikumpulkan sebagai laporan.

Berdasarkan masalah yang telah dipaparkan, maka dapat disimpulkan bahwa perlunya sebuah aplikasi yang dapat memudahkan proses survey kondisi kualitas jalan raya sebelum pelaksanaan proyek berlangsung dan dapat memberikan informasi lokasi pada sebuah foto yang diambil oleh petugas agar dapat diketahui dengan mudah dimana lokasi foto berada, karena petugas menggunakan *smartphone* sebagai media pelaporan maka aplikasi ini akan dibuat dengan basis Android, untuk menjawab permasalahan yang pertama, yakni proses survey kondisi kualitas jalan yang masih manual.

Berdasarkan penelitian Yuchuan (2014) aplikasi ini memanfaatkan sensor *accelerometer* dan GPS pada *smartphone* Android sebagai pengukur kualitas jalan [1]. Dengan menilai guncangan-guncangan yang terjadi pada sumbu-Y dan Z kendaraan yang disebabkan oleh lubang atau gundukan jalan pada saat pelaksanaan survey [2] [3]. dan dalam penilaian kualitas jalan, peneliti menggunakan *International Roughness Index* (IRI) sebagai index acuan kualitas jalan, penilaian ini telah digunakan secara luas untuk pemeliharaan infrastruktur jalan dan monitoring kondisi jalan sejak lama [4] [5].

Kemudian teknologi photo tagging untuk menjawab permasalahan kedua yakni proses menyematkan informasi lokasi berdasarkan GPS pada gambar yang telah diambil oleh *smartphone* surveyor. Nurzaman (2017) menyatakan bahwa teknologi photo tagging ini diperlukan karena dapat menggambarkan kondisi suatu peristiwa secara real time [6].

## 1.2 Maksud dan Tujuan

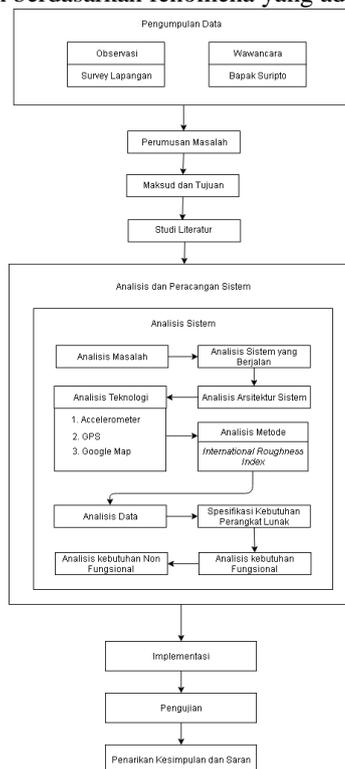
Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan, maka maksud dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk membangun aplikasi pendeteksi kualitas jalan memanfaatkan accelerometer dan photo tagging.

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari pembangunan aplikasi pendeteksi kualitas jalan ini diantaranya adalah:

1. Membantu memudahkan petugas dalam melakukan proses penilaian kualitas jalan.
2. Membantu memudahkan petugas dalam proses dokumentasi kondisi jalan.
3. Membantu petugas dalam mengetahui lokasi-lokasi jalan yang rusak.

## 1.3 Metode Penelitian

Metodologi penelitian adalah suatu proses yang memerlukan data untuk mendukung suatu penelitian. Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian terapan. Penelitian terapan merupakan suatu metode yang menyelesaikan permasalahan yang timbul langsung dari instansi atau perusahaan berdasarkan fenomena yang ada [7].

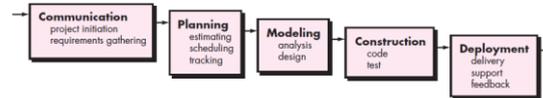


Gambar 1. Alur Metode Penelitian

## 1.4 Metode Pembangunan Perangkat Lunak

Dalam metode pembangunan aplikasi perangkat lunak ini menggunakan metode *Waterfall*. Metode *Waterfall* merupakan model klasik yang bersifat sistematis, berurutan dalam membangun *software*, dimulai dengan menentukan *requirement* sehingga di dapat kebutuhan fungsional dan non-fungsional, dan berlanjut masuk ke tahap perancangan yang meliputi perancangan sistem dan antarmuka. Tahap selanjutnya adalah implementasi yaitu pengembangan aplikasi dari

perancangan yang sudah di buat. Setelah implementasi, aplikasi diuji dengan cara memberikan pertanyaan sebelum dan sesudah siswa menggunakan media pembelajaran tersebut, untuk melihat apakah media pembelajaran ini berhasil atau tidak dalam mencapai tujuannya. Tahap terakhir yaitu maintenance secara berkala untuk meningkatkan fungsionalitas aplikasi [8].



Gambar 2. Metode Waterfall

# 1 ISI PENELITIAN

## 2.1 Aplikasi

Aplikasi merupakan perangkat lunak komputer yang tersusun dari kumpulan instruksi atau pernyataan (*statement*) sehingga komputer dapat memproses masukan menjadi keluaran. Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia, Aplikasi adalah program komputer yang dibangun untuk mengerjakan, melaksanakan dan memudahkan tugas khusus dari pengguna.

## 2.2 Android

Android merupakan sistem operasi yang digunakan oleh perangkat mobile berbasis Linux, Android dirancang untuk perangkat layar sentuh seperti *smartphone* dan Komputer tablet, mencakup sistem operasi, middleware dan aplikasi [9]. Android bersifat terbuka bagi para pengembang (*developer*) untuk menciptakan aplikasi mereka sendiri. Awalnya, Android dikembangkan oleh Android Inc. yang didukung secara finansial oleh Google yang kemudian membelinya pada tahun 2005. Secara resmi sistem operasi Android dirilis pada tahun 2007 dan membentuk Open Handset Alliance yang merupakan konsorium dari perusahaan - perusahaan perangkat lunak, perangkat keras, dan telekomunikasi, bertujuan untuk memajukan standar terbuka perangkat seluler.

Pada bulan September 2007, Google kemudian mengenalkan Nexus One, salah satu perangkat seluler yang menggunakan Android sebagai sistem operasi perangkatnya. Nexus One diproduksi oleh HTC Corporation dan dipasarkan pada 5 Januari 2008.

## 2.3 Accelerometer

*Accelerometer* adalah perangkat sensor atau transduser yang berfungsi mengukur percepatan, mendeteksi getaran dan mengukurnya, serta mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Pada penelitian ini, *Accelerometer* digunakan sebagai pendeteksi getaran dari kendaraan akibat lubang atau jalan yang rusak.

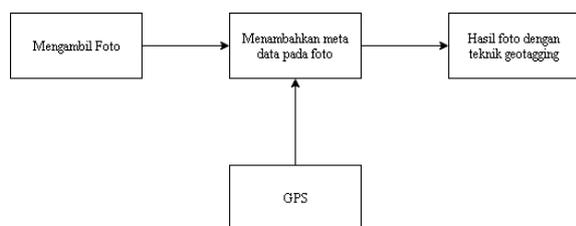
Percepatan (*acceleration*) merupakan suatu keadaan perubahan kecepatan terhadap waktu, Jika kecepatan semakin melambat daripada kecepatan sebelumnya, maka disebut *deceleration*. Percepatan bergantung pada arah/orientasi karena penurunan kecepatan yang merupakan besaran vektor.

*Smartphone* saat ini umumnya sudah memiliki sensor *Accelerometer* untuk berbagai kebutuhan seperti mengubah tampilan layar dari posisi *portrait* menjadi *landscape* atau sebaliknya dengan cara memiringkan badan ponsel, hal ini terjadi karena terjadi perubahan terhadap nilai kordinat x,y,z sebuah *Smartphone*

## 2.4 Photo Tagging

Photo Tagging merupakan sebuah teknik penyematan sebuah informasi dalam sebuah foto digital, bisa informasi mengenai pengenalan identitas seseorang, pengenalan warna, objek hingga menyematkan informasi posisi data GPS (Latitude, Longitude, Altitude) dalam penelitian ini photo tagging yang digunakan adalah penyematan informasi lokasi atau posisi sebuah foto digital yang disebut dengan Teknologi Geotagging.

Geotagging adalah proses penyematan atau penambahan informasi metadata seperti waktu dan titik koordinat terhadap media dalam sebuah foto digital, untuk mengetahui lokasi dimana dan kapan foto itu diambil. *Smartphone* yang mendukung GPS receiver internal umumnya memiliki fitur *photo tagging*. Mekanisme *photo tagging* adalah pada saat foto diambil oleh pengguna menggunakan kamera digital smartphone, kamera atau smartphone tersebut akan mencatat banyak informasi. Informasi tersebut berupa waktu dan data ketika sebuah foto diambil, serta orientasi kamera (*portrait* atau *landscape*), apakah pengambilan gambar menggunakan lampu flash dan detil kamera lainnya yang digunakan seperti Exposure, Apertur, dan Local Length. Semua data ini disimpan pada suatu tempat yang disebut EXIF Headers.



Gambar 3. Alur Teknologi Geotagging

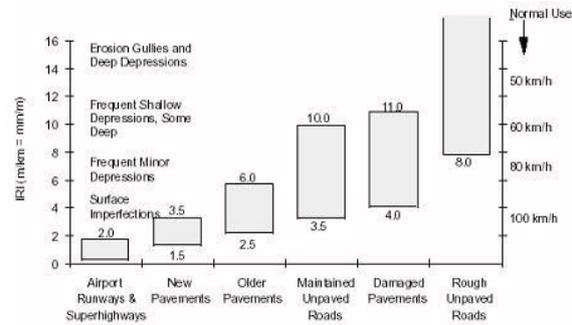
## 2.5 Jalan

Jalan merupakan prasarana transportasi kendaraan darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, kualitas permukaan jalan dinilai dari kondisi kerataan suatu jalan apakah baik dengan kondisi permukaan yang rata dan tidak berlubang atau rusak yang disebabkan oleh lubang. Dalam penelitian ini, tipe jalan yang dinilai kualitasnya adalah tipe jalan aspal dan jalan beton.

## 2.6 International Roughness Index (IRI)

International Roughness Index adalah parameter ketidakrataan jalan yang dihitung dari pengukuran

longitudinal kondisi jalan dengan akumulasi hasil ouput dari kendaraan beroda empat dan dibagi dengan jarak atau panjang kondisi jalan menggunakan data titik lokasi GPS untuk menghasilkan ringkasan indeks ketidakrataan dengan satuan kemiringan. Semakin kecil nilai IRI maka makin baik kualitas jalan [4]. Parameter index IRI dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. Nilai Parameter IRI

## 2.7 Kamera

Kamera merupakan sebuah perangkat yang berfungsi untuk mengabadikan suatu objek menjadi sebuah gambar berupa tempat atau peristiwa yang merupakan hasil proyeksi dari lensa. Prinsip kerja kamera memiliki kemiripan dengan mata. Lensa kamera adalah bagian dari kamera yang memiliki fungsi untuk membentuk bayangan, mirip seperti halnya lensa pada mata. Hasil foto atau rekaman yang diambil oleh kamera digital maupun smartphone memiliki format yang sama, hanya berbeda dari kualitasnya.

Pada Penelitian ini, Kamera digunakan sebagai alat pengambil gambar terhadap kondisi kerusakan – kerusakan jalan yang ditemukan oleh pengguna.

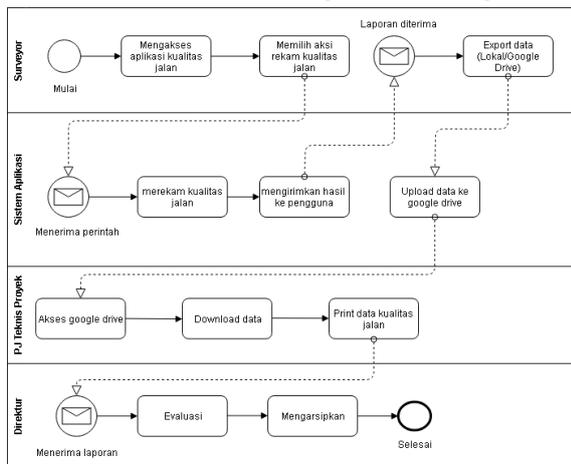
## 2.8 Global Positioning System (GPS)

GPS merupakan sistem navigasi satelit yang menyediakan informasi koordinat suatu lokasi dan waktu dalam kondisi cuaca apapun, dimanapun di atas permukaan bumi, selama masih menerima sinyal GPS yang dipancarkan oleh satelit. Untuk dapat mengetahui posisi seseorang atau suatu perangkat, diperlukan suatu alat bernama GPS receiver yang berfungsi untuk menerima sinyal yang dikirimkan oleh satelit GPS. Posisi tersebut berupa titik-titik koordinat berupa posisi lintang yang dinamakan latitude, dan posisi bujur atau longitude dari posisi seseorang atau suatu lokasi yang kemudian akan muncul pada layar peta elektronik. GPS receiver terdiri dari beberapa integrated circuit (IC). GPS dapat digunakan untuk berbagai kepentingan, seperti pada mobil, kapal, pesawat yang bisa diintegrasikan dengan perangkat komputer atau handphone.

GPS mampu bekerja dalam berbagai kondisi cuaca, siang maupun malam. GPS memiliki tingkat akurasi mencapai 15 meter dari titik sebenarnya, dengan perkembangan model terbaru yang dilengkapi dengan teknologi Wide Area Augmentation System

(WAAS) keakuratannya dalam mendeteksi lokasi bisa mencapai 3 meter. Karena GPS bekerja mengandalkan satelit, maka penggunaan GPS disarankan di tempat yang terbuka. Keakuratan GPS tidak akan maksimal jika penggunaannya di tempat tertutup seperti gedung atau ruangan. Perhitungan waktu yang akurat akan menentukan akurasi perhitungan dalam menentukan informasi lokasi. Semakin banyak sinyal satelit yang diterima maka akan semakin presisi data posisi yang dihasilkan. Selain itu, ketinggian juga mempengaruhi proses kerja GPS, semakin tinggi titik lokasi maka semakin luas ruang, sehingga gangguan semakin sedikit.

## 2.9 Analisis Prosedur Yang Akan Dibangun



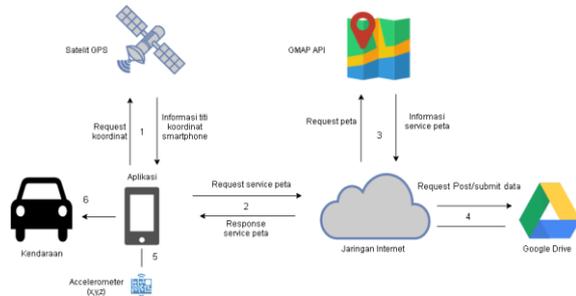
Gambar 5. Konsep Sistem Yang Akan Dibangun

Analisis prosedur yang akan dibangun berisikan gambaran besar prosedur yang akan dibangun. Prosedur yang akan dibangun berisikan 4 (empat) aktor yang akan menjalankan prosedur perusahaan. Berikut adalah penjelasan terkait gambar prosedur yang akan dibangun.

1. Petugas/Surveyor mengakses aplikasi kualitas jalan
2. Petugas/Surveyor memilih menu rekam kualitas jalan
3. Sistem aplikasi merespon perintah yang diberikan petugas
4. Sistem merekam kualitas jalan
5. Sistem mengirimkan data rekam kualitas jalan ke pengguna/petugas
6. Petugas/Surveyor menerima data rekam kualitas jalan
7. Petugas/Surveyor melakukan export data rekam kualitas jalan ke Google Drive dengan penamaan file yang telah ditentukan oleh Direktur
8. Sistem mengunggah data rekam jalan ke google drive
9. Petugas/Pj Teknis Proyek mengakses google drive pada komputer
10. Petugas/Pj Teknis Proyek mengunduh data rekam kualitas jalan
11. Petugas/Pj Teknis Proyek mencetak data rekam kualitas jalan

12. Petugas/Pj Teknis Proyek memberikan file data rekam kualitas jalan kepada Direktur
13. Direktur menerima file data rekam kualitas jalan, mengevaluasi data kemudian mengarsipkan file

## 2.10 Arsitektur Sistem



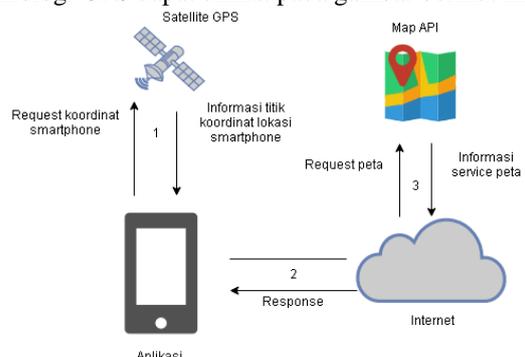
Gambar 6. Arsitektur Sistem

Pada gambar 6 terdapat gambaran arsitektur sistem yang terdiri dari kendaraan, *smartphone* dan internet yang terhubung dengan GPS Satelit, API dan Google Drive. Penjelasan dari gambar arsitektur sistem adalah sebagai berikut.

1. Perangkat android meminta koordinat *smartphone*, satellite gps memberikan posisi koordinat *smartphone*.
2. Perangkat android memasuki jaringan internet
3. Perangkat android meminta service peta, google maps API memberikan service peta
4. Perangkat melakukan export data ke media penyimpanan Google Drive
5. Aplikasi mendeteksi getaran yang terjadi selama kendaraan berjalan
6. Perangkat berada dalam kendaraan

## 2.11 Analisis GPS dan Google Map

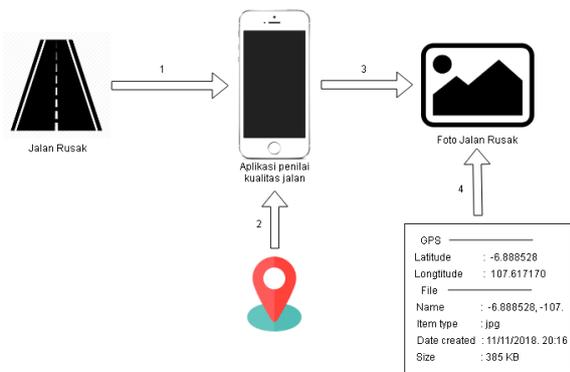
Global Positioning System (GPS) digunakan sistem untuk mendeteksi koordinat atau lokasi perangkat dalam proses menghitung jarak dan kecepatan dari kendaraan yang bergerak dari titik awal hingga titik akhir. Selain mengukur jarak dan kecepatan, GPS berfungsi untuk menandakan koordinat atau lokasi photo tagging yang kemudian akan divisualisasikan pada Peta Google. Penggunaan teknologi GPS dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 7. Analisis GPS

### 2.12 Analisis Teknologi Geotagging

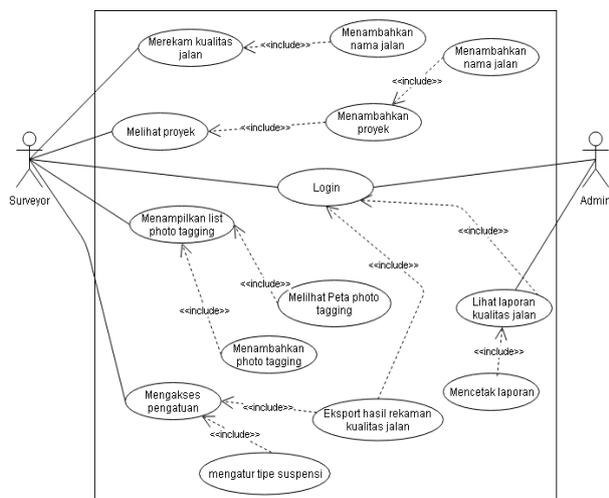
GPS Photo Tagging juga dikenal sebagai geotagging, merupakan proses penyematan informasi posisi data GPS (Latitude, Longitude, Altitude) dalam sebuah foto digital. Cara kerja geotagging pada sistem ini adalah pada saat pengguna mengambil sebuah foto jalan rusak dengan kamera ponsel yang fitur geotaggingnya telah dinyalakan, secara bersamaan ponsel tersebut akan melampirkan data koordinat (latitude, longitude) pada foto tersebut. Dimana data koordinat (latitude, longitude) yang ditambahkan pada foto tersebut akan disimpan dengan data keterangan foto yang lain, seperti tanggal pengambilan foto, dimensi, exposure, ISO dan aperture pada sebuah lokasi yang disebut EXIF Header. Data koordinat pada EXIF Header tersebut yang nantinya akan digunakan petugas untuk mengetahui lokasi jalan rusak yang telah dilaporkan [10].



Gambar 8. Analisis Teknologi Geotagging

### 2.13 Use Case Diagram

Use case diagram digunakan untuk mengetahui apa saja yang dapat dilakukan oleh pengguna atau aktor terhadap fungsionalitas yang terdapat pada aplikasi yang dirancang.



Gambar 9. Use Case

### 2.14 Analisis Penilaian Kualitas Jalan

Berdasarkan penjelasan IRI, dengan hasil penjumlahan semua sampling interval, kemudian dibagi dengan nilai jarak tempuh (S) dengan perhitungan [11] :

$$IRI = \frac{\sum_{i=2}^n Vh_i}{S} = \frac{\sum_{i=2}^n |h_i - h_{i-1}|}{S} \quad (2)$$

Ketika menghitung IRI, diperlukan total jarak tempuh (S) dan hasil perpindahan vertical accelerometer terhadap setiap sampling waktu. Jarak tempuh dapat dihitung melalui GPS. Namun, perpindahan vertikal bukanlah sebuah nilai yang dapat diperoleh secara langsung dan diturunkan dari hasil sensor accelerometer, dalam rumus fisika diketahui:

$$Vv = \frac{dv}{dt} \quad \alpha v = \frac{dVv}{dt} = \frac{d^2vh}{dt^2} \quad (3)$$

Dimana t adalah waktu, Vv adalah kecepatan vertikal,  $\alpha v$  adalah percepatan vertikal, dan Vh adalah perpindahan vertikal. Maka :

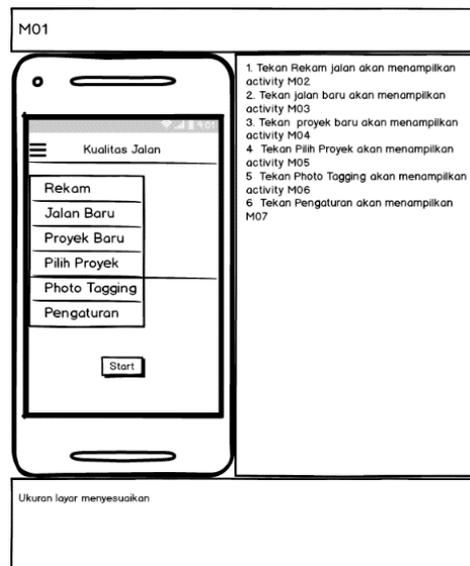
$$\sum Vh = \iint_{t_{awal}}^{t_{akhir}} |\alpha v| (dt^2) \quad (4)$$

Dengan menambahkan pembagian jarak tempuh, maka Rumus di atas dapat disimpulkan sebagai berikut :

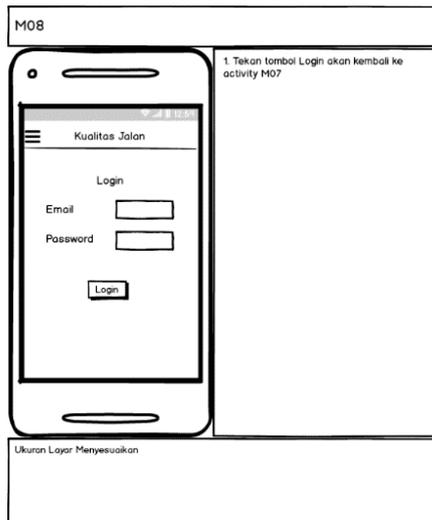
$$IRI = \frac{\sum_{i=2}^n Vh_i}{S} = \frac{\iint_{t_{awal}}^{t_{akhir}} |\alpha v| (dt^2)}{S} \quad (5)$$

### 2.15 Perancangan Antarmuka

Perancangan antarmuka dilakukan untuk merancang tampilan aplikasi perangkat lunak yang akan dibangun, dirancang sedemikian rupa agar dapat menggambarkan terlebih dahulu sistem yang dibutuhkan oleh pengguna. Berikut adalah perancangan antarmuka yang menggambarkan antarmuka aplikasi penilai kualitas jalan berbasis android.



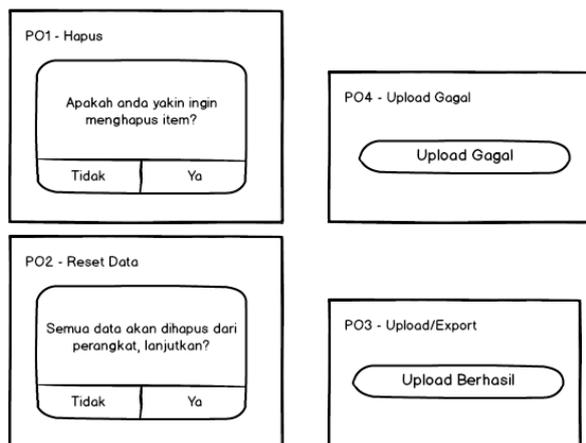
Gambar 10. Perancangan Antarmuka Menu



**Gambar 11.** Perancangan Antarmuka Login

### 2.16 Perancangan Pesan

Berikut adalah perancangan pesan aplikasi *mobile* penilai kualitas jalan.



**Gambar 12.** Perancangan Pesan

## 3 PENUTUP

### 3.1 Kesimpulan

Dari penelitian, implementasi dan pengujian maka penulis menarik kesimpulan bahwa dalam penelitian dan pengembangan Aplikasi Pendeteksi Kualitas Jalan di CV. Ngesti Utama adalah sebagai berikut:

1. Aplikasi yang dibangun dengan memanfaatkan *Accelerometer*, *GPS* dan *Photo Tagging* dapat memudahkan petugas dalam melakukan proses penilaian kualitas jalan.
2. Aplikasi yang dibangun dapat memudahkan petugas dalam proses dokumentasi kondisi jalan.
3. Dengan Teknologi *Photo Tagging* yang diimplementasikan pada aplikasi dapat membantu petugas dalam mengetahui lokasi-lokasi kondisi jalan yang rusak.

### 3.1 Saran

Untuk mengembangkan aplikasi pendeteksi kualitas jalan sehingga informasi yang dihasilkan lebih lengkap, maka penulis memberikan saran yang diharapkan dapat terwujud dan menjadi dasar penelitian selanjutnya. Adapun saran dari penulis yaitu:

1. Mengembangkan Web Administrator yang terintegrasi langsung dengan aplikasi.
2. Mengembangkan akurasi penilaian kualitas jalan pada kendaraan roda dua.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chenglong, Difei, Yuchuan, "Measurement of International Roughness Index by using Z-Axis Accelerometers and GPS," *Hindawi Journal*. pp. 5-6, 2014.
- [2] Sagar, Rahul "Road Bump and Intensity Detection using Smartphone Sensors," *IJRCCE*. vol. 4, no. 5, pp. 3, 2016.
- [3] Yehezkiel, Otniel "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Bump Menggunakan Android Smartphone dengan Sensor Akselerometer," *Jurnal Teknik ITS*. vol. 5, no. 2, pp. 6, 2016.
- [4] Mahajan dan D. V, "Estimation of Road Roughness Condition By Using Sensors In Smartphone," *IJCET*. vol. 6, no. 7, pp. 5, 2015.
- [5] Harshgandha, "Roadside Quality And Ghat Complexity Analysis". vol. 1, no. 11, pp. 5, 2015.
- [6] Z. Nurzaman, "Implementation of Geotagging Technology On Traffic Accident Relief Application," *KOMPUTA*. vol. 1, pp. 4, 2017.
- [7] E. Mulyatiningsih. 2012. *Metodologi Penelitian Terapan Bidang Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- [8] R. S. Presman. 2010. *Software Engineering*. McGraw-Hill Education.
- [9] Budi Setiawan, Eko dan Pranoto, H, "Android Remote Access Application Using Short Message Service," *KOMPUTA*. vol. 4, no. 2, pp. 2, 2017.
- [10] Marzuki, "Survei dan Pemetaan Menggunakan GPS dan GIS". 2016.
- [11] S. M. Kaiyue Zang, "Assessing and Mapping of Road Surface Roughness based on GPS and Accelerometer Sensors," *MDPL*. vol. 1, pp. 4-5, 2018.