

# Subsistem Elektronik untuk Akuisisi Data Armada pada Fleet Monitoring and Control System untuk Guided Bus

Ali Zaenal Abidin<sup>1</sup>, Arief Syaichu R.<sup>2</sup>, Arif Sasongko<sup>3</sup>, Agung Darmawan<sup>4</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung  
Ganeca 10, Bandung, 40135, Jawa Barat, Indonesia

Email: [alizaenaal@gmail.com](mailto:alizaenaal@gmail.com), [arief@stei.itb.ac.id](mailto:arief@stei.itb.ac.id), [asasongko@gmail.com](mailto:asasongko@gmail.com), [agungdar68@yahoo.com](mailto:agungdar68@yahoo.com)

**Abstrak—** Kemacetan dan kurang populernya kendaraan umum sebagai alat transportasi utama selalu menjadi masalah yang dihadapi oleh kota Bandung. Guided bus sebagai kendaraan umum merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut. Dengan guided bus yang berjalan di jalur khusus, kenyamanan penumpang dan ketepatan waktu berangkat akan terjaga. Pada implementasinya, guided bus terdiri dari banyak subsistem. Dalam tugas akhir ini, dibuat sebuah prototipe salah satu sistem penyusun guided bus, yaitu fleet monitoring and control system (FMCS). FMCS adalah system komunikasi antara armada dengan control station untuk mengatur penjadwalan keberangkatan armada dengan masukan berupa posisi dan kondisi armada. Sistem ini terdiri dari subsistem elektronik, server dan GUI. Buku ini berisi penjelasan mengenai rancangan, implementasi dan pengujian subsistem elektronik yang berfungsi untuk mengirimkan data baterai, fault, rpm dan posisi armada ke server untuk diteruskan ke GUI pada control station serta menampilkan pesan dari GUI pada control station. Pada implementasinya, subsistem elektronik yang dirancang sudah dapat melakukan fungsi-fungsinya. Pada hasil pengujian, subsistem elektronik telah berhasil memenuhi spesifikasi yang diperlukan dengan 88.48 % error GPS tidak mencapai 6 meter dan latensi jaringan GSM sebesar  $76.1 \pm 0.3$  ms dengan 1.3% data memiliki latensi melebihi spesifikasi. Untuk latensi GSM yang lebih rendah, dapat digunakan SIM5215A atau Telit UC864-E yang bekerja di jaringan 3G untuk menggantikan SIM900 yang digunakan pada implementasi ini. Untuk data GPS yang lebih baik, dapat digunakan modul GPS dengan akurasi yang lebih tinggi.

**Kata kunci—** GPS, Arduino, CAN Bus, ECU, MQTT.

## I. PENDAHULUAN

Kemacetan merupakan salah satu permasalahan yang makin pelik di Kota Bandung. Pada tahun 2014, kerugian yang dialami akibat kemacetan di Kota Bandung mencapai Rp 360 miliar per bulannya<sup>[1]</sup>. Kerugian ini berasal dari bahan bakar minyak (BBM) yang terbuang sia-sia selama kendaraan berhenti. Angkutan umum seharusnya dapat menjadi solusi kemacetan. Namun, menurut dinas perhubungan, angkot itu

sendiri justru menjadi salah satu penyebab kemacetan akibat tidak tertib, seperti penyelewengan tarif dan melanggar lalu lintas. Selain itu, penggunaan angkutan umum di Kota Bandung juga masih belum maksimal, terbukti dari jumlah kendaraan bermotor di Bandung masih didominasi oleh kendaraan pribadi (mencapai 96% dari total kendaraan bermotor<sup>[2]</sup>). Oleh karena itu, dibutuhkan system kendaraan umum yang tertib tanpa penyelewengan tarif, tanpa pelanggaran lalu lintas dan dapat mengurangi penggunaan kendaraan pribadi.

Guided bus merupakan salah satu solusi yang dapat ditawarkan sebagai angkutan umum massal yang dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Guided bus adalah bus listrik dengan jalur khusus yang terpisah dari jalur umum, sehingga terbebas dari kemacetan. Bus dipilih sebagai kendaraan karena memiliki kapasitas paling besar, yaitu hingga 60 orang dalam satu kendaraan.

Untuk menyempurnakan system angkutan umum guided bus, diperlukan sebuah system pemantauan dan pengendalian armada guided bus itu sendiri. System ini disebut Fleet Monitoring and Control System (FMCS). FMCS berfungsi untuk memantau dan mengontrol posisi dan kondisi armada guided bus agar tetap sesuai dengan penjadwalan yang telah dibuat sebelumnya. FMCS terdiri dari subsistem elektronik, server dan GUI.

Makalah ini akan menjelaskan subsistem elektronik yang berfungsi untuk mengakuisisi dan mengirimkan data melalui internet ke server, juga menerima dan menampilkan instruksi dari GUI melalui internet.

## II. PEMANTAUAN DAN MANAJEMEN KENDARAAN LISTRIK

Berikut beberapa studi literatur mengenai pemantauan dan manajemen kendaraan listrik untuk membantu perancangan dan implementasi subsistem elektronik pada FMCS untuk guided bus.

### A. Pemantauan Posisi Armada Kendaraan

Kegiatan pemantauan posisi armada kendaraan dapat dilakukan dengan beberapa metode. Contoh metode yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan GPS<sup>[3]</sup> dan RFID<sup>[4]</sup>.

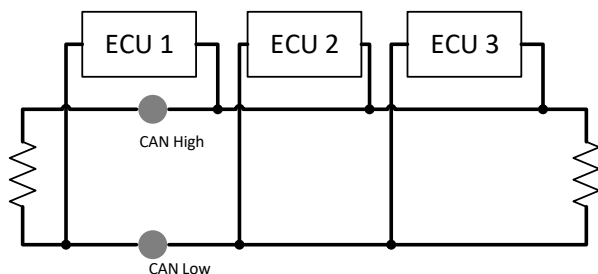
Pada penggunaan RFID, digunakan sebuah tag dalam kendaraan dan reader di sekitar jalan raya. Kelebihan metode ini yaitu sangat presisi. Namun, metode ini memiliki akurasi

yang buruk dan membutuhkan dukungan infrastruktur untuk reader di sekitar jalan raya, dan pada kondisi jalan yang ramai, performa frekuensi radio 433 MHz mudah terinterferensi sehingga seringkali terjadi kegagalan dalam komunikasi tag dan reader.

Pada penggunaan GPS, digunakan sebuah GPS receiver dan antenna. Kelebihan metode ini yaitu lebih akurat dari metode RFID. Selain itu, metode ini mudah diimplementasikan karena tidak membutuhkan infrastruktur tambahan. Namun, modul GPS memiliki presisi yang lebih buruk dari RFID dan membutuhkan waktu sebelum dapat membaca data posisi sehingga armada harus menunggu sampai GPS siap digunakan sebelum berangkat.

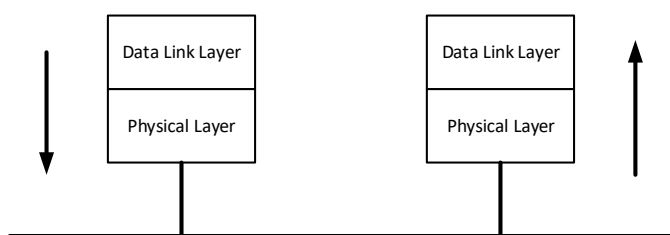
### B. Controller Area Network (CAN)

CAN adalah standar bus untuk kendaraan yang didesain yang memungkinkan Engine Control Unit (ECU) untuk dapat berkomunikasi satu sama lain dengan kecepatan yang sangat tinggi, mencapai 1 Mbps<sup>[5]</sup>. CAN bus biasanya diimplementasikan menggunakan dua kawat *twisted differential*, yaitu CAN High dan CAN Low, dengan dua buah resistor 120Ω pada ujungnya.



Gambar 2. 1 CAN Bus

CAN bus terdiri dari dua layer, yaitu Physical dan Data Link. Physical Layer memastikan koneksi fisik setiap node di dalam jaringan dan menstandarkan karakteristik elektrik bus. Data Link Layer memungkinkan semua node untuk mengirim dan menerima data di bus dan berisi informasi untuk mengidentifikasi data *frame* dan error.



Gambar 2. 2 Komunikasi CAN Bus

### C. Global Positioning System (GPS) dan National Marine Electronics Association (NMEA) Sentences

Pada implementasinya, GPS menggunakan standar NMEA<sup>[6]</sup> untuk mengomunikasikan data GPS yang terbaca, seperti kecepatan, posisi dan waktu. Standar NMEA terdiri dari kalimat-kalimat yang masing-masing mengandung data yang unik. Setiap sentence diawali dengan karakter '\$',

diakhiri karakter '\r\n' dan menggunakan karakter ',' untuk memisahkan tiap data. Untuk GPS, data akan memiliki prefix GP.

Tabel 2. 1 NMEA Sentences

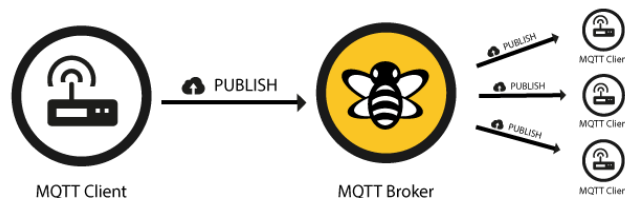
Message	Description
GGA	Time, position and fix type data
GLL	Latitude, longitude, UTC time of position fix and status
GSA	GPS receiver operating mode, satellites used in the position solution, and DOP values
GSV	Number of GPS satellites in view satellite ID numbers, elevation, azimuth, & SNR values
MSS	Signal-to-noise ratio, signal strength, frequency, and bit rate from a radio-beacon receiver
RMC	Time, date, position, course and speed data
VTG	Course and speed information relative to the ground
ZDA	PPS timing message (synchronized to PPS)
150	OK to send message
151	GPS Data and Extended Ephemeris Mask
152	Extended Ephemeris Integrity
154	Extended Ephemeris ACK

Pada implementasinya, modul GPS menggunakan protocol komunikasi serial untuk berkomunikasi dengan controller.

### D. Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

MQTT diciptakan pada tahun 1999 oleh Dr Andy Stanford-Clark dari IBM dan Arlen Nipper dari Arcom (sekarang Eurotech). MQTT adalah standar ISO (ISO/IEC PRF 20922) sebagai protokol pengiriman pesan yang ringan berbasis metode *publish/subscribe*, didesain untuk perangkat dengan komunikasi *bandwidth* rendah, latensi tinggi atau berada di dalam jaringan yang tidak handal. Protokol ini cocok untuk komunikasi *machine-to-machine* atau *Internet of Things*.

Klien MQTT yang mengirimkan data disebut publisher, sedangkan yang menerima data disebut subscriber. Di antara keduanya terdapat sebuah broker yang menerima data dari publisher dan mendistribusikan data tersebut ke seluruh subscriber.



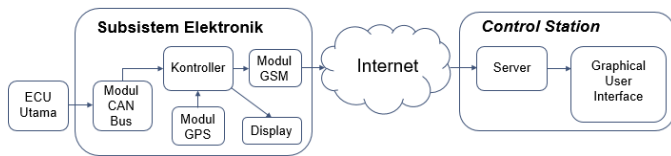
Gambar 2. 3 Aliran data MQTT

Terdapat beberapa parameter penting yang akan digunakan pada implementasi subsistem elektronik. Parameter ini antara lain sebagai berikut.

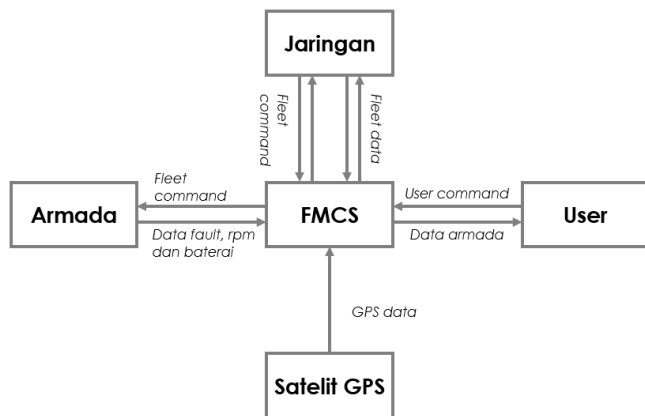
- Topic, yaitu topik pesan yang dikirim atau diterima.
- Payload, yaitu isi pesan yang dikirim atau diterima.
- Quality of Service (QoS), yaitu tingkat kepercayaan penerimaan data oleh klien yang melakukan *subscribe*.

### III.FMCS PADA GUIDED BUS SECARA KESELURUHAN

Desain FMCS pada *guided bus* memiliki arsitektur yang menggunakan metode GPS seperti pada studi literatur. Berikut arsitektur dan data flow diagram FMCS pada *guided bus*.



Gambar 3. 1 Arsitektur FMCS



Gambar 3. 2 Data flow diagram level 0 FMCS

Data yang mengalir dalam FMCS yaitu kondisi armada, posisi armada dan perintah dari *control station* untuk armada. Data kondisi dan posisi armada berasal dari sensor-sensor yang ada pada *guided bus* dan subsistem elektronik FMCS. Data-data ini kemudian disusun dan dikirim ke GUI pada *control station* melalui server dan ditampilkan. Setelah itu, GUI akan merespon dengan mengirim perintah ke tiap armada berupa kecepatan. Perintah ini bergantung pada masukan data dan algoritma penjadwalan yang sedang berjalan. Subsistem elektronik kemudian menampilkan perintah tersebut untuk dilihat oleh pengemudi *guided bus*.

#### IV. SPESIFIKASI, PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Subsistem elektronik memiliki spesifikasi yang harus dipenuhi yaitu sebagai berikut.

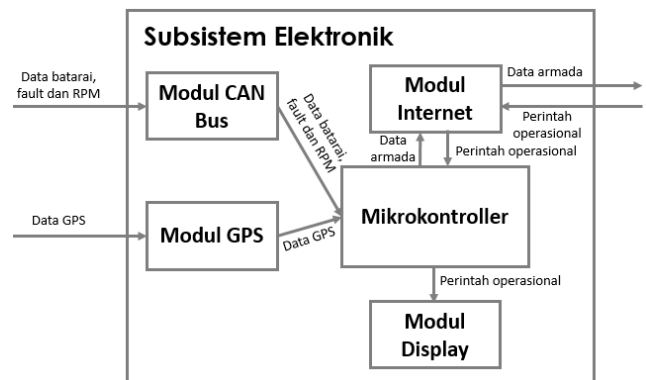
- Membaca posisi armada dengan *error* maksimal 6 meter.
- Membaca data rpm kendaraan, kondisi fault dan level energi baterai sesuai spesifikasi ECU yang sudah terdapat di *guided bus*.
- Mengirimkan data-data tersebut dengan interval maksimal 0.8 detik.
- Menerima dan menampilkan perintah operasional dari GUI pada *control station* setiap ada perubahan perintah.
- Dapat mengirimkan tanda ke *control station* saat armada tidak dapat beroperasi.

Untuk memperoleh spesifikasi error sensor posisi pada FMCS, tampilan jalur pada GUI disegmentasi tiap 12 meter sesuai dengan panjang bus. Dari panjang segmen ini, dapat ditentukan error maksimal sensor posisi yaitu 6 meter, supaya tidak ada 2 armada yang ditampilkan dalam 1 segmen yang sama.

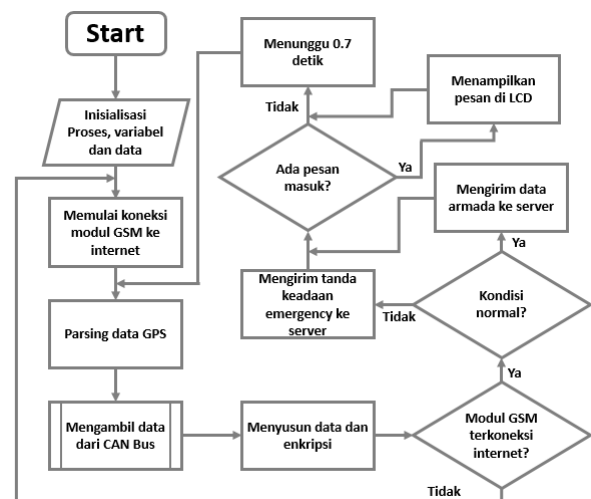
Untuk memperoleh spesifikasi waktu pengiriman data, digunakan asumsi kecepatan armada pada jalur khusus yaitu pada 15 meter/detik. Karena segmentasi yang dibuat sebesar 12 meter, maka waktu pengiriman data harus memperhatikan

nilai tersebut supaya bus tetap terpantau setiap melewati segmen-segmen. Sehingga, data harus dikirimkan setiap 12/15 detik, yaitu sekitar 0.8 detik.

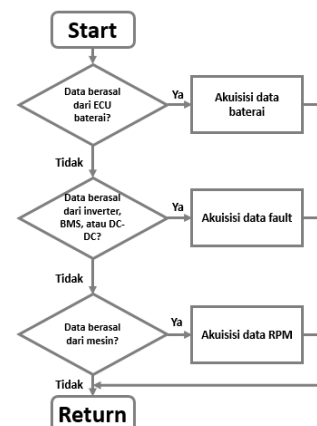
Berikut ilustrasi data flow diagram dan flowchart program subsistem elektronik.



Gambar 3. 3 Data flow diagram



Gambar 3. 4 Flowchart program



Gambar 3. 5 Flowchart sub-program akuisisi data CAN Bus

Untuk menjalankan program seperti pada flowchart di atas, diperlukan sebuah mesin sekuensial. Karena tidak ada proses berat seperti pengolahan citra, tidak diperlukan prosesor

dengan kecepatan tinggi sehingga cukup digunakan prosesor berbasis AVR. Pada perancangan ini, dipilih kontroller Arduino Mega berbasis mikroprosesor ATmega2560 dengan *clock* 16 MHz. Kontroller ini memiliki 4 buah port serial untuk berkomunikasi secara serial dengan perangkat lain. Selain itu, juga terdapat sebuah port I<sup>2</sup>C dan SPI.

Berikut perancangan dan implementasi untuk setiap fungsi yang diperlukan.

#### A. Akuisisi Data Posisi melalui GPS

Terdapat beberapa jenis sensor GPS yang ada di pasaran. GPS Ublox Neo-M8N merupakan salah satu sensor terbaru yang diproduksi saat makalah ini dibuat. Sensor GPS ini cocok untuk penggunaan pada subsistem elektronik karena dapat mendeteksi satelit GLONASS, yaitu satelit yang paling berpengaruh pada presisi lokasi untuk penggunaan di Indonesia. Selain itu, pada satelit GLONASS, sensor ini memiliki *update rate* hingga 5 Hz dan akurasi 2.5 meter. Untuk melengkapi sensor GPS ini, digunakan antenna aktif untuk menangkap sinyal GPS lebih baik dari antenna pasif. Antenna aktif ini dihubungkan dengan sensor GPS melalui kabel panjang supaya antenna dapat diletakkan di luar armada untuk kualitas sinyal GPS yang lebih baik.

Pada implementasinya, *refresh rate* GPS diatur menjadi 5 Hz agar *update* posisi lebih cepat dari spesifikasi yang dibutuhkan (yaitu periode 0.8 detik). Selain itu, *baudrate* GPS juga diatur pada 57600 bps untuk mempercepat proses akuisisi data posisi.

#### B. Akuisisi Data Kondisi Armada melalui CAN Bus

Untuk berkomunikasi dengan ECU lain pada *guided bus*, dibutuhkan sebuah komponen komunikasi CAN Bus. Salah satu komponen yang dapat melakukan fungsi ini adalah MCP2515. *Chip* ini dapat membaca data dari CAN Bus hingga kecepatan 1000 kbps. *Chip* ini juga memiliki *operating voltage* dalam jangkauan Arduino, yaitu pada 2.7-5.5 V. Selain itu, MCP2515 juga dapat berkomunikasi dengan Arduino melalui komunikasi serial dan SPI.

Pada penggunaan dalam subsistem elektronik ini, MCP2515 hanya digunakan untuk membaca data dari CAN Bus dengan kecepatan 1000 kbps. Data yang dibaca oleh subsistem elektronik ada pada ID 1, 3 dan 5 di CAN Bus. ID ini masing-masing mengandung data *fault*, baterai dan RPM. Setelah memperoleh data yang diinginkan, MCP2515 meneruskan data tersebut ke Arduino melalui komunikasi SPI.

#### C. Penentuan Kondisi Normal dan Emergency

Untuk menentukan kondisi normal dan emergency, dibuat sebuah switch yang dikendalikan manual oleh pengemudi *guided bus*. Pada saat keadaan normal, switch diatur untuk berada pada kondisi normal. Pada kondisi ini, subsistem elektronik akan mengirimkan data armada ke control station. Pada saat keadaan armada tidak dapat beroperasi, switch diatur untuk berada pada kondisi emergency. Pada kondisi ini, subsistem elektronik akan mengirimkan pesan emergency ke control station.

#### D. Pengiriman dan Penerimaan Data melalui Internet

Data yang dikirimkan melalui internet disusun sebagai berikut.

10 byte longitude	:	11 byte latitude	:	2 byte data baterai	:	2 byte RPM	3 byte fault
-------------------	---	------------------	---	---------------------	---	------------	--------------

Untuk pengiriman dan penerimaan data melalui internet, digunakan modul GSM SIM900. Modul ini dapat melakukan koneksi ke internet melalui jaringan GSM, sehingga cocok untuk digunakan pada benda yang terus bergerak. Protocol komunikasi yang digunakan pada system ini yaitu MQTT. Modul GSM SIM900 digunakan karena membutuhkan daya 1-2 Watt untuk mengirim data dan 1mA saat mode *idle*<sup>[7]</sup>, dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui protocol serial dan memiliki frekuensi kerja quad-band. Data rate dari SIM900 bervariasi bergantung pada keadaan sinyal.

Subsistem elektronik selalu mengawasi koneksi internet. Jika koneksi terputus, akan dilakukan koneksi ulang untuk kembali membuka koneksi ke server.

Pengiriman data dilakukan dengan QoS = 0, yaitu pengiriman satu arah, agar pengiriman dilakukan dengan cepat. Pemilihan QoS ini karena jika satu data tidak berhasil dikirim, data berikutnya memiliki prioritas lebih tinggi untuk dikirimkan dibandingkan data sebelumnya. Topic yang digunakan pada implementasi ini adalah “fleet” diikuti dengan nomor fleet. Misal, untuk fleet pertama digunakan topik “fleet1”, dan seterusnya.

Penerimaan data dilakukan dengan QoS = 2, yaitu pengiriman dua arah yang memastikan klien memperoleh pesan yang dikirim. Pemilihan QoS ini karena data perintah kecepatan dari *control station* hanya dikirimkan 1 kali sehingga harus dipastikan tiap armada mendapatkan perintah tersebut.

#### E. Perangkaan Subsistem Elektronik

Seluruh modul yang digunakan pada subsistem elektronik akan digabungkan menjadi satu kesatuan dan *packaging* seperti gambar di bawah.



Gambar 3. 6 Subsistem elektronik

Baterai Li-Po dan casing digunakan untuk keperluan pengujian. Antenna aktif GPS diletakkan di luar *casing* agar lebih mudah dalam menerima sinyal dari satelit GPS. Display LCD digunakan untuk keperluan *debugging* dan simulasi *interface* perintah dari *control station* untuk tiap armada.



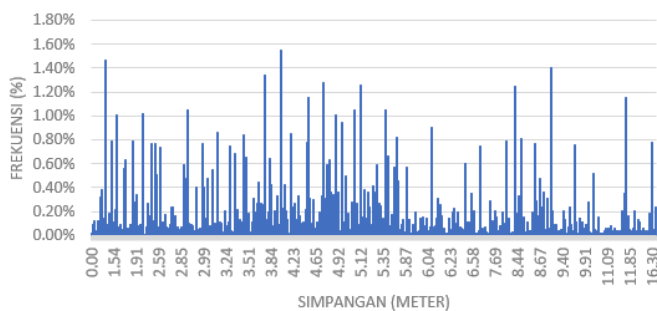
## V. PENGUJIAN DAN VERIFIKASI

Pengujian pada subsistem elektronik dilakukan untuk menguji tiap spesifikasi yang harus dipenuhi. Konfigurasi pengujian setiap tahapnya yaitu sebagai berikut.

- Laptop Intel i5-6200U 2.8 GHz, RAM 4 GB, system operasi Windows 10 sebagai klien untuk menangkap data waktu pengiriman.
- Daya subsistem elektronik dari baterai Li-Po 5000 mAh 20C.
- CAN Bus dari Mini AGT di PT. LEN Industri.

### A. Akuisisi Data GPS

Pada pengujian ini dilakukan pengamatan terhadap akurasi data GPS yang diambil dan error yang terjadi. Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan subsistem elektronik pada satu titik uji yang telah diketahui koordinatnya, kemudian direkam data posisi yang dikirimkan oleh subsistem elektronik pada suatu program untuk kemudian dihitung jaraknya terhadap titik uji. Dari 4148 data yang diperoleh saat pengujian, berikut grafik persebaran data yang diperoleh.



Gambar 4. 1 Persebaran penyimpangan data GPS

Dari gambar di atas dapat dilihat persebaran penyimpangan yang terjadi tidak terdistribusi secara normal. Dari seluruh data tersebut, terdapat 11.52 % data yang melebihi spesifikasi, sehingga dapat dikatakan GPS yang digunakan 88.48 % memenuhi spesifikasi error pembacaan lokasi.

### B. Akuisisi Data dari CAN Bus

Pada pengujian ini dilihat keberhasilan komunikasi antara subsistem elektronik dengan ECU lain yang ada dalam *guided bus* melalui CAN Bus. Subsistem elektronik dihubungkan dengan CAN Bus yang ada di Mini AGT PT LEN Industri untuk dilihat data baterai dan faultnya sesuai dengan ID yang dijelaskan pada bagian implementasi. Berikut gambar hasil pembacaan data dari CAN Bus Mini AGT.

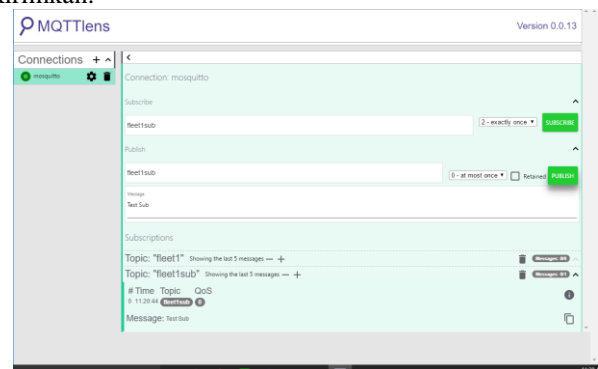
```
COM10 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

rai = 257
Tegangan Baterai = 257
CAN BUS Shield init ok!
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
Tegangan Baterai = 257
```

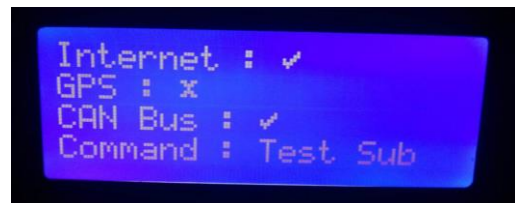
Gambar 4. 2 Pembacaan data CAN Bus untuk baterai

### C. Penerimaan Data dari Server

Pada pengujian penerimaan data dari server, digunakan aplikasi MQTTLens untuk mengirimkan dummy data. Berikut gambar aplikasi MQTTLens dan hasil tampilan data yang dikirimkan.



Gambar 4. 3 Pengiriman data dari MQTTLens



Gambar 4. 4 Hasil tampilan data dari server

Dari gambar di atas dapat dilihat pesan yang dikirimkan dari MQTTLens sudah dapat ditampilkan oleh LCD Display pada subsistem elektronik.

### D. Pengujian di Lapangan

Pada pengujian di lapangan, subsistem elektronik digunakan untuk mengirim data posisi kendaraan yang bergerak di Jalan Soekarno Hatta, Bandung. Dalam pengujian ini kendaraan yang digunakan adalah sepeda motor. Selama subsistem elektronik mengirimkan data posisi, GUI dinyalakan untuk mengamati data yang dikirim. Selain kondisi normal ini, dilakukan juga pengujian pada kondisi emergency, yaitu subsistem elektronik akan mengirimkan pesan emergency ke server.

Hasil pengujian ini yaitu data yang dikirim dari subsistem elektronik sudah sesuai dengan susunan data yang telah dijelaskan pada bagian implementasi.

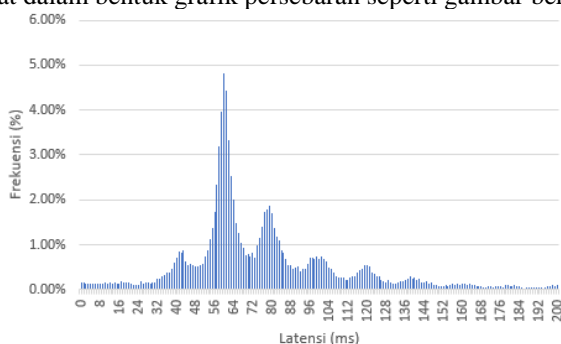
Untuk keadaan emergency, subsistem elektronik juga sudah dapat mengirimkan pesan emergency ke server.

#### E. Latensi Pengiriman Data ke Server

Pengujian latensi pengiriman data ke server dilakukan dengan cara mengirimkan 32 byte data dari subsistem elektronik ke server mosquito secara berkala dengan periode 0.6 detik selama 12 jam. Kemudian, dibentuk grafik untuk menunjukkan interval penerimaan data oleh server dan diamati data statistiknya.

Dari pengujian selama 12 jam, diperoleh 84722 data interval pengiriman data. Dari seluruh data ini, terdapat 1.3% data latensi yang melebihi interval pengiriman data. Jika data dikirim dengan latensi tersebut, posisi data yang diterima oleh control station sudah tidak presisi.

Untuk mengukur latensi pengiriman yang valid, digunakan 45927 data latensi yang tidak terpengaruh kondisi data tertahan di jaringan. Dari seluruh data yang valid ini kemudian dibuat dalam bentuk grafik persebaran seperti gambar berikut.



Gambar 4. 5 Grafik persebaran latensi

Rata-rata latensi yang diperoleh adalah 76.1 ms. Nilai ini berbeda dengan mediannya, yaitu 66 ms. Perbedaan ini menunjukkan persebaran yang kurang terdistribusi Gaussian. Namun, jika dilihat dari grafik di atas, bentuk grafik persebaran latensi ini mendekati persebaran Gaussian yang tergeser. Oleh Karena itu, perhitungan statistika latensi pengiriman ini dapat didekati dengan persebaran Gaussian.

Dari data yang diperoleh, dilakukan pendekatan persebaran Gaussian untuk ditentukan parameter statistika sebagai berikut.

Rata-Rata	Standar Deviasi	Margin of Error
76.1 ms	33.8 ms	0.3 ms

Margin of error yang diperoleh menggunakan selang kepercayaan 95%. Dari pengukuran di atas, dapat dikatakan latensi pengiriman data adalah sebesar  $76.1 \pm 0.3$  ms dengan selang kepercayaan 95%.

Dari nilai latensi ini, dapat dilihat bahwa data yang dikirimkan dari subsistem elektronik sampai ke *control station* setiap interval maksimal yaitu  $600 + 76.1 + 0.3$  ms, atau 676.4 ms. Nilai ini masih berada dalam batas spesifikasi.

## VI. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan, subsistem elektronik sudah berhasil mengakuisisi data dari ECU lain yang ada dalam guided bus. Subsistem elektronik juga sudah dapat menghasilkan data posisi armada dengan 88.48% error tidak melebihi 6 meter. Data-data ini juga telah berhasil dikirimkan ke server melalui jaringan internet GSM. Pengiriman ini memiliki latensi sebesar  $76.1 \pm 0.3$  ms, dimana latensi ini dapat ditoleransi dan masuk ke dalam batas spesifikasi, tetapi masih ada 1.3% data memiliki latensi yang melebihi spesifikasi.

Supaya tidak terjadi latensi yang melebihi batas spesifikasi, modul GSM yang digunakan dapat diganti menjadi SIM5215A atau Telit UC864-E. Modul ini dapat bekerja dalam jaringan 3G dengan kecepatan mencapai 384 kbps. Untuk data GPS yang lebih baik, dapat digunakan modul GPS dengan akurasi yang lebih tinggi.

## REFERENSI

- [1] Lukihardianti, Arie. (2014, 16 November). *Kerugian Akibat Macet di Bandung Capai Rp 4,36 Triliun* [Online]. Available: <http://www.republika.co.id/berita/nasional/daerah/14/11/16/nf46jk-kerugian-akibat-macet-di-bandung-capai-rp-436-triliun>
- [2] *Kota Bandung dalam Angka*, Badan Pusat Statistik Kota Bandung, Bandung, 2015, pp 228-230.
- [3] Fabbri G. et al, "Development of an On-Board Unit for the Monitoring and Management of an Electrical Fleet" in XXth International Conference on Electrical Machines, 2012.
- [4] Sriborriux, Wiroon, et al, "The Design of RFID Sensor Network for Bus Fleet Monitoring" in 8th International Conference on ITS Telecommunications, 2008.
- [5] Corrigan, Steve. (2002, August). *Introduction to the Controller Area Network (CAN)* [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf>
- [6] Dale DePriest. *NMEA Data* [Online]. Available: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>
- [7] SIM900 Hardware Design V2.00, SIMCom, 2010, pp. 8-9.