

Perancangan dan Pembuatan *Data Acquisition Device* Sebagai Sistem Akuisisi Data untuk Kendali Mobil *Formula Student*

Leonard Fidelcristo Supit^{*1}, Tri Wahyu Supardi², Triyogatama Wahyu Widodo³

¹Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

^{2,3}Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

e-mail: ^{*1}Leonardfidelcristo@mail.ugm.ac.id, ²twsupardi@ugm.ac.id, ³yogatama@ugm.ac.id

Abstrak

Data Acquisition Device (DAQ) merupakan komponen elektronik yang umum digunakan pada mobil formula student. Untuk mengoptimalkan performa dari mobil formula student dan pengendaranya, diperlukan adanya analisis dan pemantauan sistem akuisisi data pada mobil. Parameter yang diakuisisi pada mobil meliputi perubahan posisi pedal rem/throttola dan kecepatan roda mobil.

DAQ yang dibuat memiliki 5 kanal input yaitu 3 pin input analog dan 2 pin input digital, serta 3 kanal output yaitu pin controller, pin fault, dan pin brake light. Sistem DAQ pada penelitian ini dirancang dan dibuat menggunakan Teensy 3.6, rangkaian pengkondisi sinyal yang terdiri dari low pass filter RC, voltage follower, non-inverting amplifier, dan logic level shifter. Sistem DAQ akan mengirimkan data hasil pembacaan dan pengolahan dari masing-masing sensor melalui protokol komunikasi CANBUS.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem DAQ dapat mengakuisisi data dari sensor KTC Linier Motion Position PZ-12-A-50P dengan nilai akurasi 99,91%; sensor Hall-effect Rotary Position RTY120LVNAX dengan nilai akurasi 99,94% baik untuk sensor pertama dan kedua; serta sensor Proximity LJ12A3-4-Z/BX dengan nilai akurasi 99,58% untuk sensor pertama dan 99,46% untuk sensor kedua. Pada pengujian output, DAQ mampu menjalankan pemrosesan sinyal controller, mendeteksi fault berupa short/open circuit, dan mengaktifkan sinyal brake light sesuai dengan aturan dari FSAE.

Kata kunci— DAQ, akuisisi data, sensor, mobil formula student

Abstract

Data Acquisition Device (DAQ) is an electronic component used in formula student vehicles. To optimize the performance of the formula student vehicle and its driver, it is necessary to analyze and monitor the data acquisition system. Parameters acquired on the car include the position of the brake pedal/throttola and wheel speed.

DAQ system has 5 input channels namely 3 analog input pins and 2 digital input pins, and 3 output channels, which is the controller pin, fault pin, and brake light pin. The DAQ system in this research is designed and made using Teensy 3.6, a signal conditioning circuit consisting of an RC low pass filter, voltage follower, non-inverting amplifier, and logic level shifter. DAQ system uses CANBUS to read and process sensor data.

DAQ system can acquire data from the KTC Linear Motion Position sensor PZ-12-A-50P with an accuracy value of 99,91%; Hall-effect Rotary Position sensor RTY120LVNAX with an accuracy value of 99,94% for both the first and second sensors; and Proximity sensor LJ12A3-4-Z/BX with an accuracy value of 99,58% for the first sensor and 99,46% for the second sensor. DAQ is able to run controller signal processing, detect faults, and activate brake light signal according to FSAE rules.

Keywords— DAQ, data acquisition, sensor, formula student vehicle

1. PENDAHULUAN

Formula Student merupakan kompetisi mobil balap formula dengan standar internasional yang diikuti oleh seluruh mahasiswa dari berbagai universitas di dunia. *Formula Student* dilaksanakan di beberapa negara seperti India, Jepang, Jerman, Belanda, dan berbagai negara lainnya. [1] Di seluruh dunia terdapat 1083 universitas pada 20 negara yang terdaftar secara resmi sebagai penyelenggara kompetisi Formula SAE. [2] Kompetisi ini diselenggarakan untuk mendesain, memanufaktur, dan menguji desain mobil balap terbaik berdasarkan standar Formula SAE. Konsep pada *Formula Student* menuntut seluruh peserta kompetisi untuk dapat berpikir secara kritis dalam memecahkan suatu masalah. [3]

Semakin berkembangnya teknologi saat ini, berdampak pada semakin kompleksnya sistem kontrol yang dimanfaatkan dalam suatu mobil formula. [4] Dalam kompetisi *Formula Student*, terdapat dua event yang dilombakan yaitu *Static Event* dan *Dynamic Event*. Dalam *Static Event*, juri akan melakukan pengujian serta validasi data-data terkait proses manufaktur mobil *formula student* berlangsung. Sedangkan untuk *Dynamic Event*, akan dilakukan pengujian terhadap ketangkasan dari mobil listrik yang telah dirancang sesuai dengan *track* yang telah ditentukan oleh panitia kompetisi. [5]

Arjuna EV UGM berkompetisi dalam kompetisi *Formula Student* sejak tahun 2016. Tujuan utama dari tim Arjuna adalah melakukan riset secara terus menerus untuk menciptakan perkembangan yang signifikan dalam sistem dan desain mobil yang dirancang. Salah satu perkembangan yang ada berupa pemanfaatan sebuah perangkat akuisisi data untuk mengumpulkan dan menginterpretasi data dari sensor dimobil. [6] Akuisisi data dalam kasus ini meliputi proses pembacaan data dari sensor-sensor, dimana di dalamnya meliputi sensor bertipe data analog dan digital. Kemudian, data yang tersedia akan diolah dengan pengkondisi sinyal yang meliputi *low pass filter* serta *voltage follower* untuk sensor bertipe data analog dan *logic level shifter* untuk sensor bertipe data digital. Data yang ada akan dicuplik, diolah untuk menghasilkan sinyal kontrol serta deteksi *error*, dan diberi label untuk disimpan dalam memori *SD Card*. Proses akuisisi bermanfaat untuk mendiagnosa masalah keamanan dan optimasi data pada sistem mekanik mobil. Sistem mekanik tersebut umumnya meliputi parameter posisi *pedal throtle/rem* dan kecepatan roda mobil. Adapun, data hasil akuisisi akan dimanfaatkan untuk memberikan saran kepada *driver* sehingga dapat meningkatkan performanya dalam mengendarai mobil. [7]

Pengembangan perangkat akuisisi data turut memberikan berbagai keuntungan bagi tim mobil *Formula Student*. Selain berkurangnya biaya produksi pada mobil formula, pengembangan alat akuisisi data dapat meningkatkan Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) pada mobil *formula* yang dibuat. TKDN adalah besarnya komponen dalam negeri pada barang, jasa, dan gabungan yang dinyatakan persentase. [8] Tingginya TKDN dengan kualitas yang baik akan menjadi salah satu faktor yang dapat menambah poin pada perlombaan *Formula Student*. [9]

Maka, penulis merancang sistem akuisisi data bernama *Data Acquisition System (DAQ)*. Sistem akuisisi data di dalam mobil formula yang dibuat berbasis modul mikrokontroler Teensy 3.6. Sistem ini akan mengambil data dari sensor yang tersedia melalui sebuah *software*. [10] Lalu, beberapa perangkat yang digunakan dalam penelitian ini tidak selamanya digunakan bersamaan, namun dapat melalui protokol komunikasi CANBUS sehingga sistem dapat memproduksi aliran data yang dapat diandalkan. Diharapkan dengan menggunakan DAQ yang dirancang, dapat memberikan solusi atas permasalahan data yang bervariasi pada mobil *formula student*. Dengan demikian, melalui perancangan DAQ diharapkan dapat memberikan prestasi untuk kompetisi yang diikuti oleh tim *formula student* kedepannya.

2. METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas analisis yang dilakukan dalam pembuatan sistem DAQ serta proses perancangannya. Berikut akan dibahas analisis yang dilakukan, proses perancangan alat, serta pengujian yang akan dipakai dalam penelitian.

2.1 Analisis Sistem

Penelitian ini direncanakan mengadopsi sistem DAQ yang telah diteliti sebelumnya. [11] Tujuannya adalah merancang dan membangun sebuah sistem DAQ untuk membaca serta mengolah data hasil akuisisi pada mobil formula yang bervariasi setiap saat dari sensor-sensor dengan menggunakan mikrokontroler, pengkondisi sinyal, software, dan protokol komunikasi.

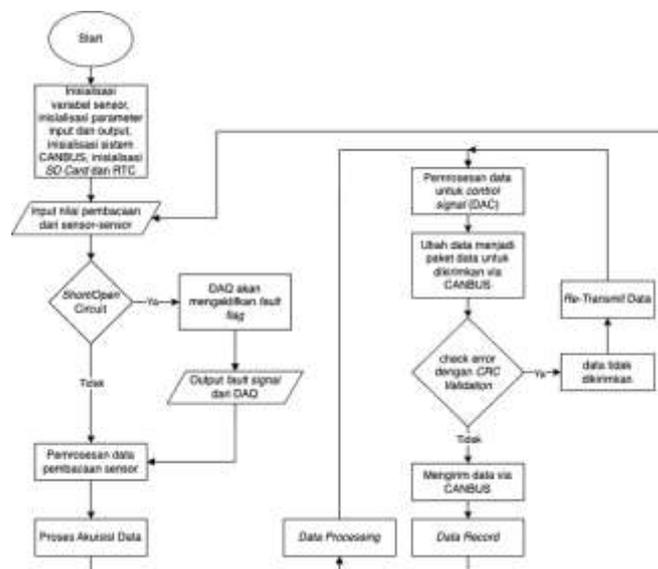
Pada sistem DAQ yang akan dibuat, akan dilengkapi dengan 3 kanal *input* sinyal analog dan 2 kanal *input* sinyal digital untuk menerima input dari masing-masing sensor. Lalu, akan ditambahkan beberapa sistem tambahan seperti *pengkondisi sinyal* pada masing-masing *input* sinyal analog serta digital. Kemudian bagian *output* dari sistem DAQ terdapat *digital to analog converter* untuk pengiriman *control signal* menuju *motor controler*. Terdapat 2 kanal *output* sinyal digital untuk *brake signal* menuju *brake lamp* dan *fault signal* menuju *fault latching board*.

Mikrokontroler yang digunakan adalah Teensy 3.6 karena memiliki banyak pin *input*, *output*, dan pin-pin lain yang membantu perancangan DAQ. Kemudian, mikrokontroler ini juga memiliki memori internal berupa *built-in SD Card* untuk mempermudah penyimpanan data secara lokal dan *built-in RTC* untuk pelabelan data secara lokal. Pemrogramannya juga terbilang mudah karena hanya memerlukan Teensyduino yang diakomodir oleh Arduino IDE. Sistem CANBUS tetap akan diimplementasikan pada piranti ini agar dapat berkomunikasi dengan perangkat luar.

2.2 Rancangan Perangkat Lunak

Rancangan algoritma sistem ditujukan untuk merancang sistem agar mampu menjalankan instruksi yang diharapkan. Rancangan algoritma sistem tersusun atas deklarasi variabel, pembacaan nilai sensor, mengoreksi hasil bacaan sensor (*short/open circuit*), proses akuisisi data, filter data, *data processing*, pemrosesan data ke *motor controler*, serta mengirimkan data sensor melalui CANBUS. [12]

Algoritma dibuat menjadi program menggunakan Teensyduino dengan Arduino IDE yang berbasis bahasa pemrograman C dan ditanamkan ke dalam Teensy 3.6. Diagram alir perangkat lunak sistem DAQ dapat diamati pada Gambar 2.



Gambar 1 Rancangan Algoritma Sistem

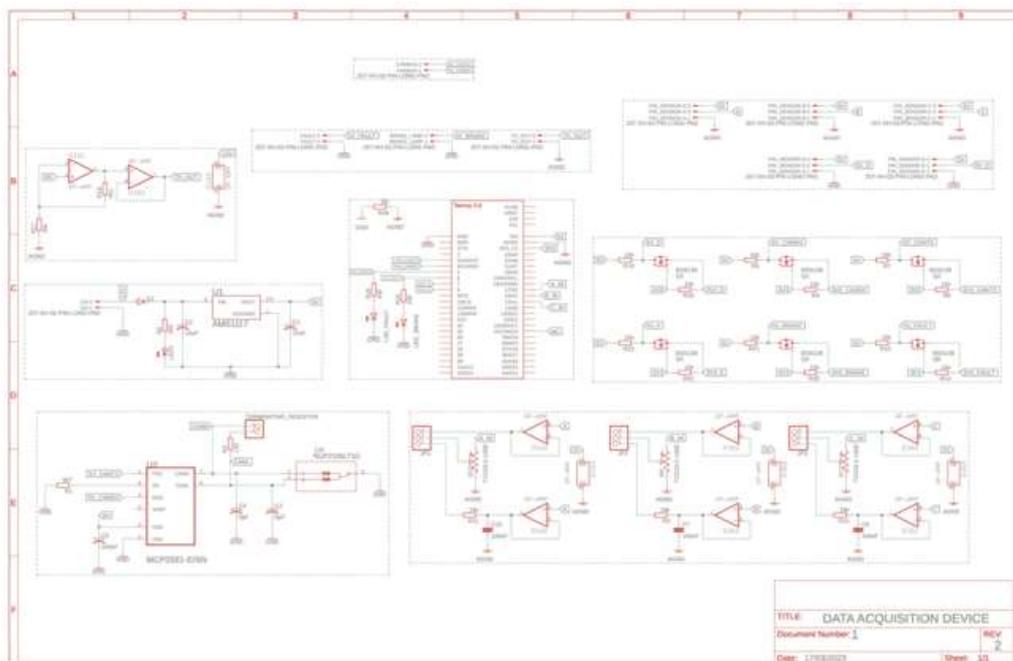
2.3 Rancangan Perangkat Keras Sistem

Untuk rancangan perangkat keras sistem DAQ meliputi rancangan *low pass filter*, *voltage follower*, *linier voltage regulator*, mikrokontroler, *logic level shifter*, amplifier, dan CANBUS seperti pada Gambar 3. *Linier voltage regulator* dirancang dengan IC AMS1117 sebagai peregulasi suplai tegangan *input*.

Terdapat 3 *input* sistem dengan tipe data analog dan 2 *input* sistem dengan tipe data digital dari masing-masing sensor. Untuk *input* sistem dengan tipe data analog digunakan rangkaian *low pass filter* dan *voltage follower* yang memanfaatkan IC LM358. Sedangkan untuk *input* sistem dengan tipe data digital digunakan rangkaian *logic level shifter* yang memanfaatkan resistor dan mosfet untuk mengubah level tegangan pada sinyal digital dari 5V menjadi 3,3V menyesuaikan spesifikasi Teensy 3.6.

Terdapat 3 *output* sistem melalui *pin controller*, *pin fault*, dan *pin brake light*. *Output* sistem melalui *pin controller* memanfaatkan *Digital to Analog Converter* (DAC), yang dikoneksikan pada rangkaian *voltage follower* dan amplifier sehingga dapat dibaca oleh *motor controller* sebagai sinyal kendali. Lalu, *output* sistem melalui *pin fault* yang akan mengeluarkan sinyal digital ketika terjadi *short* atau *open circuit* pada sensor-sensor yang digunakan. Kemudian, *output* sistem melalui *pin brake light* yang akan mengeluarkan sinyal digital sesuai dengan *input* dari sensor KTC *Linier Motion Position PZ-12-A-50P*.

Digunakan *built-in SD Card* untuk menyimpan data secara lokal dan *built-in RTC* yang telah tersedia pada Teensy 3.6 untuk pelabelan data. Teensy 3.6 memiliki fasilitas CANBUS, dimana Teensy 3.6 berperan sebagai *CAN Controller*. Dengan demikian, agar protokol komunikasi data CANBUS dapat berfungsi, diperlukan adanya *CAN Tranceiver* yang dirancang menggunakan MCP2551. MCP2551 akan menerjemahkan *logic level message* dari *CAN Controller* (Teensy 3.6) menjadi *differential signal* yaitu CANH dan CANL. Adapun, dalam perancangan CANBUS *Tranceiver*, MCP2551 akan dilengkapi dengan IC NUP2105, kapasitor, dan resistor/



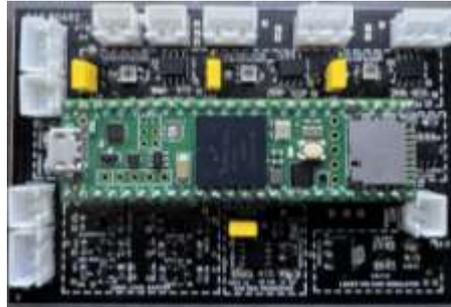
Gambar 2 Rancangan Diagram Sistem DAQ

2.4 Implementasi Sistem DAQ

Pada penelitian ini, sistem DAQ yang dibuat secara keseluruhan merupakan PCB berukuran 89 x 60 mm. Sistem DAQ memiliki lebar jalur 0,6 mm untuk mengalurkan data 0,7 mm untuk mengalirkan tegangan berarus kecil dan ground.

Dapat diamati pada Gambar 3, masing-masing bagian komponen diletakan sedekat mungkin dengan mikrokontroler. Tujuannya agar sinyal yang telah diolah tidak memiliki noise yang signifikan. Dilakukan juga pemisahan *ground* pada PCB, dimana dipisah antara *ground analog* dengan *ground digital* dan *power* untuk menghilangkan *noise*. Kedua *ground* kemudian disatukan disatu titik saja menggunakan resistor 0 Ω . Setelah sistem DAQ berjalan lancar, barulah resistor 0 Ω tersebut diganti menggunakan *ferrite bead* dengan menentukan frekuensi *cut-off*-nya.

Untuk mengalirkan tegangan dan sinyal digunakan *copper plane* pada seluruh komponen pada lapisan atas dan bawah PCB sebesar 89 x 60 mm, yang dihubungkan dengan *via berukuran* 0,6 mm sebanyak 47 buah. *Ground plane* dari sistem PCB juga dibuat lapisan atas dan bawah yang juga dihubungkan dengan *via* 0,6 mm sebanyak 20 buah. Tegangan dan *ground* dari sumber daya akan masuk ke sistem DAQ melalui konektor, dimana digunakan konektor 2 dengan kemampuan hantar arus sebesar 1A. Desain PCB dari sistem DAQ dapat diamati pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem DAQ

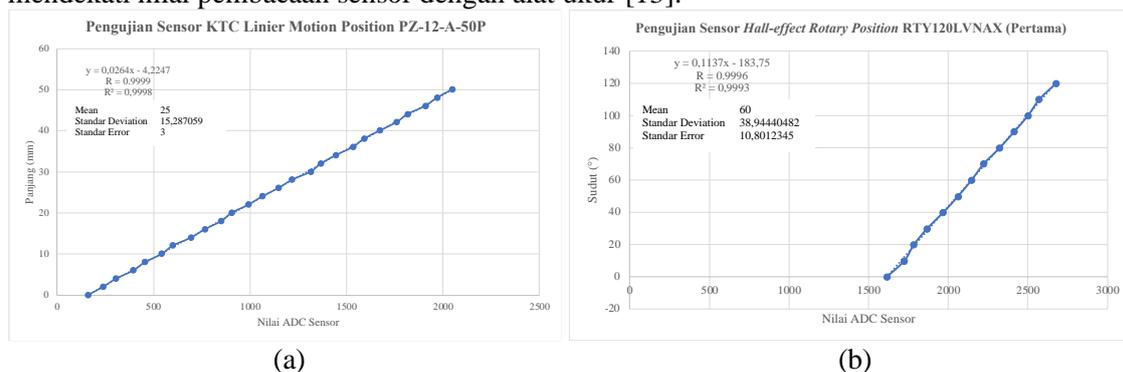
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

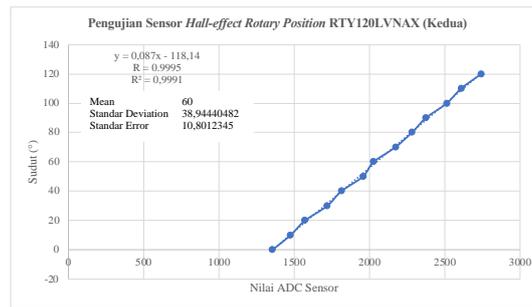
3.1 Pengujian Sensor DAQ

Pada bagian ini akan dibahas terkait proses pengujian dari sensor-sensor dalam sistem DAQ agar menghasilkan pembacaan yang akurat. Sensor yang akan dibahas adalah sensor *KTC Linear Motion Position*, sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX, dan sensor *Proximity* LJ12A3-4-Z/BX.

Untuk proses pengujian pertama dilakukan pada sensor dengan tipe data analog, yaitu sensor *KTC Linear Motion Position* dan sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX. Pengujian dilakukan dengan membuat program terlebih dahulu. Program yang dibuat digunakan untuk proses kalibrasi dengan membaca nilai ADC pada masing-masing sensor analog. Setelah program dibuat, selanjutnya sistem dijalankan dan bervariasi nilai dari sensor berdasarkan pembacaan alat ukur untuk dicatat nilai ADC-nya. Setelah dicatat nilai sensor dan nilai ADC-nya, kemudian dari nilai tersebut dibentuklah sebuah *trendline* menggunakan analisis regresi. Kemudian dapat ditemukan persamaan regresi linier dari *trendline* yang terbentuk. Metode analisis regresi linier dipilih berdasarkan nilai R^2 yang dihasilkan dari persamaan yang terbentuk. Persamaan regresi tersebut kemudian dimasukkan ke dalam program sehingga dapat diperoleh nilai pengukuran sensor yang akurat.

Untuk proses pengujian kedua dilakukan pada sensor dengan tipe data digital. Pengujian dilakukan dengan membuat program untuk pembacaan sinyal digital yang dikirimkan oleh sensor. Setelah program dibuat, kemudian dicatat hasil pembacaan pada sensor dan dibandingkan dengan pembacaan pada alat ukur. Dilakukan pula pengamatan terhadap akurasi dari masing-masing sensor, dimana pengukuran yang akurat diperoleh ketika nilai pembacaan sensor oleh DAQ mendekati nilai pembacaan sensor dengan alat ukur [13].





(c)

Gambar 4. Grafik Pengujian Sensor (a) Sensor KTC *Linear Motion Position*, (b) Sensor *Hall-effect Rotary Position RTY120LVNAX* (c) Sensor *Proximity LJ12A3-4-Z/BX*

Tabel 1 Pengujian Akurasi Sensor KTC *Linear Motion Position PZ-12-A-50P*

No	Sensor (mm)	Alat Ukur (mm)	Error%
1	0,23	0	-0,23
2	2,17	2	-0,17
3	3,96	4	0,04
4	6,04	6	-0,04
5	8,02	8	-0,02
6	9,89	10	0,11
7	11,96	12	0,04
8	14,04	14	-0,04
9	15,91	16	0,09
10	18,04	18	-0,04
11	19,89	20	0,11
12	21,91	22	0,09
13	25,2	24	-1,2
14	25,98	26	0,02
15	28,11	28	-0,11
16	30,03	30	-0,03
17	32,15	32	-0,15
18	33,93	34	0,07
19	35,87	36	0,13
20	38,08	38	-0,08
21	39,92	40	0,08
22	42,94	42	-0,94
23	44,18	44	-0,18
24	46,04	46	-0,04
25	47,93	48	0,07
26	49,97	50	0,03
Rata-Rata Error (%)			0,09

Dari tabel 1 diperoleh bahwa nilai eror pengukuran sebesar 0,09%. Sehingga untuk tingkat akurasi dari sensor KTC *Linier Motion Position PZ-12-A-50P* adalah $100\% - 0,09\% = 99,91\%$.

Tabel 2 Pengujian Akurasi Sensor *Hall-effect Rotary Position RTY120LVNAX* (pertama)

No.	Sensor (°)	Alat Ukur (°)	Error (%)
1	0,1	0	-0,1
2	10,3	10	-0,3
3	19,4	20	0,6
4	31,2	30	-1,2
5	39,9	40	0,1
6	50,1	50	-0,1
7	60,3	60	-0,3
8	69,7	70	0,3
9	79,8	80	0,2
10	89,3	90	0,7
11	100,2	100	-0,2
12	109,7	110	0,3
13	120,8	120	-0,8
Rata-Rata Error (%)			0,06

Tabel 3 Pengujian Akurasi Sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX (kedua)

No.	Sensor (°)	Alat Ukur (°)	Error (%)
1	0,1	0	-0,1
2	9,6	10	0,4
3	19,2	20	0,8
4	31,5	30	-1,5
5	39,9	40	0,1
6	50,4	50	-0,4
7	60,5	60	-0,5
8	69,9	70	0,1
9	79,5	80	0,5
10	89,6	90	0,4
11	100,3	100	-0,3
12	109,7	110	0,3
13	120,6	120	-0,6
Rata-Rata Error (%)			0,06

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 diperoleh bahwa nilai eror pengukuran sebesar 0,06% untuk kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX. Sehingga untuk tingkat akurasi dari kedua sensor tersebut adalah $100\% - 0,06\% = 99,94\%$.

Tabel 4 Pengujian Akurasi Sensor *Proximity* LJ12A3-4-Z/BX

No.	Sensor (rpm)	Alat Ukur (rpm)	Error (%)
1	9,4	10,4	1,1
2	49,8	51,3	1,4
3	87,2	89,3	2,1
4	145,7	144,5	-1,2
5	194,5	196	1,5
6	271,3	268,7	-2,6
7	302,9	304,7	1,9
8	385,3	387,5	2,2
9	394,9	395,7	0,8
10	441,8	443,9	2,1
11	468,4	465,2	-3,2
12	499,8	501,4	1,6
13	539,5	535,7	-3,8
14	546,7	549,9	3,1
15	612,7	612,1	-0,5
Rata-Rata Error (%)			0,42

Tabel 5 Pengujian Akurasi Sensor *Proximity* LJ12A3-4-Z/BX

No.	Sensor (rpm)	Alat Ukur (rpm)	Error (%)
1	5,3	5,4	0,1
2	100,5	98,2	-2,2
3	118,6	121,8	3,2
4	180,1	178,9	-1,2
5	292,3	294,2	1,9
6	305,2	305,3	0,1
7	336,7	339,5	2,7
8	367,1	369,2	2,1
9	403,1	405	1,9
10	434,9	436,3	1,5
11	484,2	483,8	-0,5
12	505,8	502,8	-3
13	559,2	558,7	-0,5
14	592,1	593,2	1,1
15	638,5	639,4	0,9
Rata-Rata Error (%)			0,54

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 diperoleh bahwa nilai eror pengukuran sebesar 0,42% dan 0,54% untuk sensor *Proximity* LJ12A3-4-Z/BX pertama dan kedua. Sehingga untuk tingkat akurasi dari sensor *Proximity* LJ12A3-4-Z/BX pertama adalah $100\% - 0,42\% = 99,58\%$ dan $100\% - 0,54\% = 99,46\%$ untuk sensor *Proximity* LJ12A3-4-Z/BX kedua.

3.2 Pengujian Output DAQ

Pada pengujian *output* DAQ, dilakukan penalaan pada variabel *setup* dan diamati pengaruhnya terhadap variabel *control*. Dalam pengujian ini menggunakan fasilitas *serial plot*

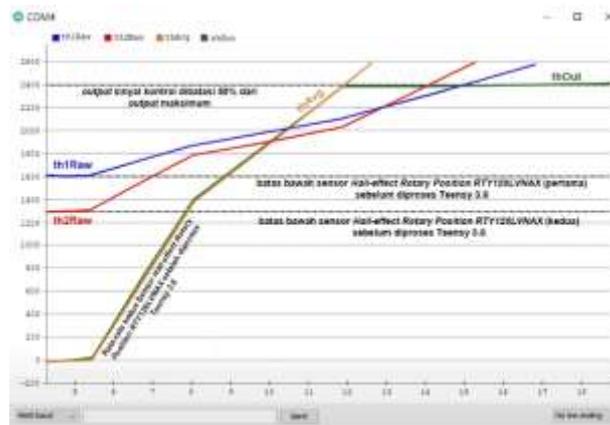
yang telah tersedia pada aplikasi *Teensyduino*, sehingga dapat diamati perubahan data pada variabel *control* dan *output* DAQ berdasarkan variasi *input* tertentu.

Pengujian dilakukan terhadap *output* DAQ berupa *control signal*, *fault signal*, dan *brake light signal*. Dalam menjalankan pengujian akan diberikan tegangan masukan pada sistem DAQ sebesar $12V_{DC}$.

3. 2.1 Pengujian Output Control Signal

Pengujian *output control signal* dilakukan dengan cara memberikan variasi *input* pada kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX serta diamati perubahan data pada variabel *th1Raw*, *th2Raw*, *thAvg*, dan *thOut*. Seperti yang dapat diamati pada Gambar 5, ketika diberi *input* pada kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX (*th1Raw* dan *th2Raw*), tampak bahwa *output* dari *control signal* (*thOut*) meningkat secara linier.

Hasil pengolahan sinyal dari kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX disimpan dalam variabel *thAvg* turut menunjukkan peningkatan secara linier sesuai dengan *input* dari kedua sensor tersebut. Saat nilai dari variabel *thAvg* mencapai nilai ADC sebesar 2400 bit, grafik dari variabel *thOut* tidak mengalami kenaikan apapun, hal ini disebabkan karena batasan pada program DAQ yang membatasi *output control signal* sebesar 50% menyesuaikan kebutuhan sistem. Pembatasan *output control signal* ini didasarkan pada aturan FSAE yang berbunyi “*the vehicle’s powertrain output must be constant if the throttle pedal is pressed more than 50% of maximum range*” [9].



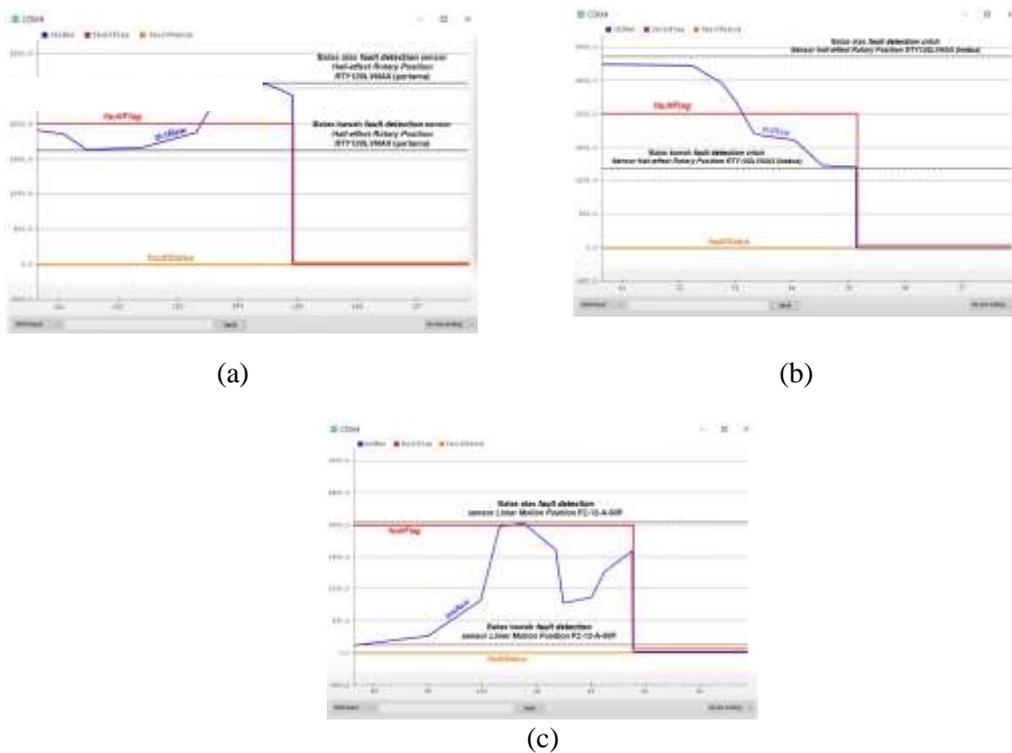
Gambar 5 Pengujian Output Control Signal

3. 2.2 Pengujian Output Control Signal

Pengujian pin *fault* dilakukan dengan menggunakan sensor *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P dan kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi ketika *open/short circuit* terjadi pada masing-masing sensor, maka sistem DAQ akan mengaktifkan *fault signal*.

Pengujian berlangsung dengan memutuskan koneksi dari sensor *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P dan kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX dengan perangkat DAQ serta diamati perubahan data pada variabel *th1Raw*, *th2Raw*, *brkRaw*, *faultFlag*, dan *faultStatus*. Variabel *faultFlag* digunakan untuk mengirimkan *fault signal*. Adapun penulis memodifikasi variabel *faultFlag* dalam pengujian ini, dimana awalnya variabel ini disimpan dengan tipe data *bool*, selanjutnya diubah menjadi tipe data *uint16t*. Kemudian, dilakukan *setup* dari variabel *faultFlag* agar merepresentasikan kondisi *low* dengan nilai 0 bit dan *high* dengan nilai 2000 bit.

Pada Gambar 6(a), Gambar 6(b), dan Gambar 6(c) tampak pengujian terhadap masing-masing sensor dengan tipe data analog. Ketika sensor diberikan variasi *input* tertentu, grafik mengalami perubahan tertentu pula. Setelah sinyal dari koneksi dari dengan perangkat DAQ diputus, tampak nilai *faultFlag* berubah dari kondisi *high* menjadi kondisi *low*. Tampak pula terjadi kenaikan pada nilai variabel *faultStatus* yang menunjukkan kondisi *fault* dari masing-masing sensor. Kondisi *fault* ini akan terus disimpan hingga koneksi sensor kembali *normal*.



Gambar 6 Grafik Pengujian *Output Fault Signal* terhadap sensor (a) Sensor KTC *Linear Motion Position*, (b) Sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX (c) Sensor *Proximity* LJ12A3-4-Z/BX

3. 2.3 Pengujian *Output Brake Light Signal*

Pengujian *output brake light signal* dilakukan dengan cara memberikan variasi *input* pada sensor *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P serta diamati perubahan data pada variabel *brkMapped* dan *brkLightOn*. Adapun dilakukan modifikasi terhadap variabel *brkLightOn* dalam pengujian ini, dimana awalnya variabel ini disimpan dengan tipe data *bool*, selanjutnya diubah menjadi tipe data *uint16t*. Lalu, di *setup* agar nilai variabel *brkLightOn* merepresentasikan kondisi *low* dengan nilai 0 bit dan kondisi *high* dengan nilai 2000 bit.

Pada Gambar 5, diberikan variasi *input* pada sensor *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P. Adapun, terdapat aturan FSAE yang menyebutkan “*the vehicle must have a brake light that is turn on if the brake pedal is pressed more than 10% of maximum range*” .[5] Aturan FSAE tersebut berarti bahwa mobil yang dirancang harus memiliki *brake light* yang menyala ketika pedal *brake* menerima *input* lebih dari 10% dari *input* maksimumnya. Tampak pada grafik dari variabel *brkLightOn* berubah dari kondisi *low* menuju *high* ketika nilai dari variabel *brkMapped* di atas 10% dari kondisi maksimum yaitu 410 bit. Ketika nilai dari variabel *brkMapped* dibawah 410 bit, kondisi dari variabel *brkLightOn* berubah dari kondisi *high* menuju *low*.

3. 2.4 Pengujian Sistem CANBUS

Dilakukan pengujian pada transmisi data CANBUS dari sistem DAQ ke perangkat luar. Pada Gambar 7, dapat diamati paket data yang dikirimkan pada masing-masing alamat CANBUS secara berkala. Dalam pengujian digunakan 2 alamat CANBUS, yaitu alamat 1 dan 2. Selama pengujian berlangsung, dilakukan variasi *input* dari sensor KTC *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P dan kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX untuk diamati perubahan pada paket data yang ditransmisikan.

Apabila diamati pada Gambar 7 dan membandingkan dengan Tabel 6, tampak bahwa ketika kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX menerima *input* sebesar 49° dan 50° , maka terdapat perubahan kecepatan pada masing-masing roda mobil sebesar 63 km/h. Kemudian, ketika terjadi peningkatan nilai *input* pada kedua sensor *Hall-effect Rotary Position*

RTY120LVNAX sebesar 90° , maka kecepatan pada kedua roda mobil turut meningkat menjadi 115 km/h.

Selanjutnya, diberikan *input* pada sensor KTC *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P sebesar 33 mm, tampak kondisi *high* (1) pada variabel *brakeLightOn* serta terjadi penurunan kecepatan menjadi 6 km/h pada roda mobil bagian kiri dan 7 km/h pada roda mobil bagian kanan. Ketika *input* sensor KTC *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P meningkat menjadi 46 mm, tampak kondisi *high* (1) pada variabel *brakeLightOn* masih muncul, serta kecepatan dari kedua roda mobil menjadi 0 km/h.

Saat terjadi perubahan *input* pada sensor KTC *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P menjadi 0 mm, kondisi dari variabel *brakeLightOn* menjadi *low* (0). Adapun, dilakukan pengujian dengan memutus koneksi dari sensor KTC *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P dengan pin *input* DAQ, tampak bahwa kondisi dari *faultFlag* berubah dari *high* (1) menjadi *low* (0) serta terdapat paket data dengan nilai 100 pada variabel *faultStatus* yang menunjukkan terdapat *fault* pada sensor KTC *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P.

Pengujian dilanjutkan dengan memutus koneksi dari sensor KTC *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P dan kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX dengan pin *input* DAQ, tampak bahwa kondisi dari variabel *faultFlag* masih *low* (0) serta terdapat paket data dengan nilai 111 pada variabel *faultStatus* yang menunjukkan terdapat *fault* pada sensor KTC *Linier Motion Position* PZ-12-A-50P dan kedua sensor *Hall-effect Rotary Position* RTY120LVNAX.

Tabel 6 Alamat CANBUS

Address	Bit	Value	Unit	Data Type	Notes
1	0	0-120	Derajat	Uin8_t	dth1
	1	0-120	Derajat	Uin8_t	dth2
	2	0-50	mm	Uin8_t	dbrk
	3	0-185	km/h	Uin8_t	kmh_left
	4	0-185	km/h	Uin8_t	kmh_right
	5	0-1	-	Bool	brkLightOn
	6	0-1	-	Bool	faultFlag
2	7	0-111	-	Bool	faultStatus
	0	0-111	-	Bool	faultStatus
	1	0-1	-	Bool	faultFlag
	2	0-1	-	Bool	brkLightOn
	3	0-185	km/h	Uin8_t	kmh_right
	4	0-185	km/h	Uin8_t	kmh_left
	5	0-50	mm	Uin8_t	dbrk
6	0-120	Derajat	Uin8_t	dth2	
7	0-120	Derajat	Uin8_t	dth1	

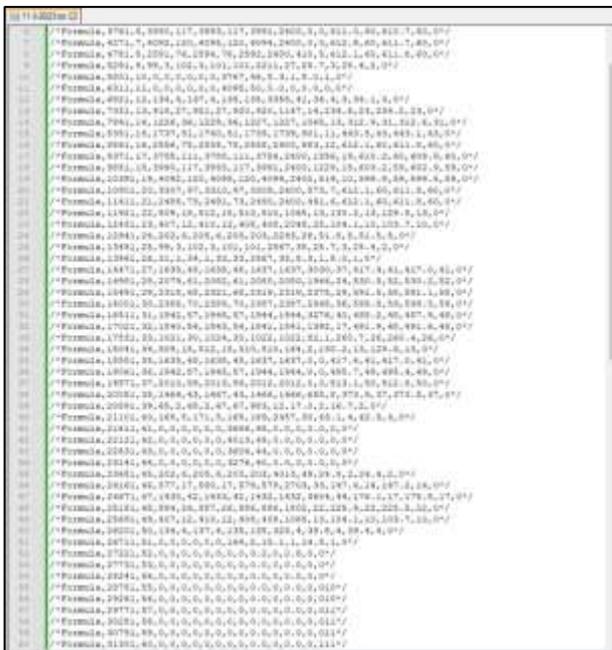


Gambar 7 Data Hasil Transmisi CANBUS pada Sistem DAQ

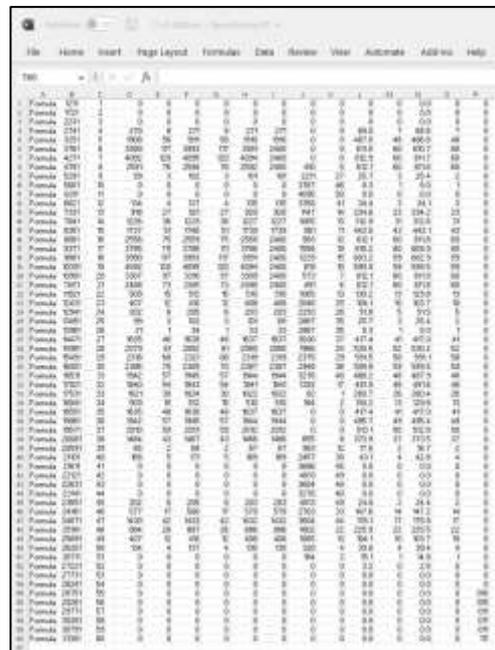
3. 2.5 Pengujian Sistem Akuisisi Data

Hasil akuisisi data pada Gambar 8 merupakan hasil pengujian sistem akuisisi data pada sistem DAQ. Untuk pengujian sistem akuisisi data dilakukan untuk menguji bahwa data yang diakuisisi telah diberi label dan disimpan pada SD Card.

Awalnya data hasil akuisisi disimpan dalam file format .txt. Selanjutnya, fail tersebut dapat diterjemahkan ke dalam format yang lebih mudah dipahami, yaitu menggunakan aplikasi microsoft excel. Gambar 6.13, menunjukkan kumpulan data hasil akuisisi sistem DAQ berdasarkan variasi input dari sensor KTC Linier Motion Position PZ-12-A-50P dan kedua yang telah diakuisisi memanfaatkan fasilitas built-in RTC, dimana nama fail menyesuaikan tanggal ketika akuisisi data pada sistem DAQ sedang berlangsung. Masing-masing kolom pada Gambar 10 digunakan untuk menyimpan paket data dari masing-masing variabel control sesuai dengan rancangan program. Secara berturut-turut dari kiri ke kanan, kolom tersebut berisi variabel control yang telah diubah ke dalam tipe data string yaitu: carname, runtime, packetcount, th1Mapped, dth1, th2Mapped, dth2, thAvg, thOut, brkMapped, dbrk, rpm_right, kmh_right, rpm_left, kmh_left, dan faultStatus. Untuk masing-masing baris merepresentasikan pengambilan data setiap satuan waktu



(a)



(b)

Gambar 8 Hasil Akuisisi (a) pada SD Card (b) Setelah dibuka dengan Microsoft Excel

4. KESIMPULAN

Pertama, diperoleh bahwa sistem DAQ yang diteliti dapat membaca dan mengolah data hasil akuisisi dari sensor-sensor pada mobil formula student. Sensor-sensor tersebut meliputi sensor KTC Linier Motion Position PZ-12-A-50P dengan nilai akurasi 99,91%; sensor Hall-effect Rotary Position RTY120LVNAX dengan nilai akurasi 99,94% baik untuk sensor pertama dan kedua; serta sensor Proximity LJ12A3-4-Z/BX dengan nilai akurasi 99,58% untuk sensor pertama dan 99,46% untuk sensor kedua. Data hasil akuisisi dan pembacaan di sistem DAQ diproses dan disimpan pada SD Card dalam format .txt.

Kedua, sistem DAQ yang dirancang dan dibangun pada penelitian ini dilengkapi dengan pengkondisi sinyal analog dan digital. Untuk pengkondisi sinyal analog pada sistem DAQ menggunakan rangkaian low pass filter RC dengan fc sebesar 0,1 Hz; rangkaian non-inverting

amplifier dengan *gain* 1,5; dan rangkaian *voltage follower*. Untuk pengkondisi sinyal digital pada sistem DAQ berupa rangkaian *logic level shifter*.

Ketiga, pada penelitian ini, sistem DAQ dirancang dan dibangun dengan memanfaatkan protokol komunikasi CANBUS. Protokol komunikasi CANBUS tersusun atas Teensy 3.6 sebagai *CAN Controller* dan MCP2551 sebagai *CAN Transceiver*. Diperoleh bahwa paket data yang dikirimkan dari sistem DAQ sesuai dengan *format* data yang dirancang.

Keempat, Pada pengujian *output*, Sistem DAQ mampu menjalankan pemrosesan sinyal *controller*, mendeteksi *fault* berupa *short/open circuit*, dan mengaktifkan sinyal *brake light* sesuai dengan ketentuan aturan dari FSAE.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. R. Chandiramani, S. Bhandari, and S. A. Hariprasad, "Vehicle Data Acquisition and Telemetry," *2014 Fifth International Conference on Signal and Image Processing*, Jan. 2014, doi: <https://doi.org/10.1109/icsip.2014.35>.
- [2] FSG, "FSG: Formula Student Germany," *Formulastudent.de*, 2022. <https://www.formulastudent.de>
- [3] Z. Li, D. Wang, and Q. Kang, "The Development of Data Acquisition System of Formula SAE Race Car Based on CAN Bus Communication Interface and Closed-Loop Design of Racing Car," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2021, pp. 1–18, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.1155/2021/4211010>.
- [4] C.SAE, "China Society of Automotive Engineers," www.sae-china.org, 2022. <http://www.sae-china.org/>
- [5] G. Andria, F. Attivissimo, A. Di Nisio, A. M. L. Lanzolla, and A. Pellegrino, "Design and implementation of automotive data acquisition platform," *2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings*, May 2015, doi: <https://doi.org/10.1109/i2mtc.2015.7151278>.
- [6] Arjuna UGM, "Arjuna UGM – Race the Future," 2022. <https://arjunafit.web.ugm.ac.id> (accessed Mar. 25, 2023).
- [7] M. Fathizadeh and A. Ayyad, "Application of Remote Telemetry for Improving Formula SAE Car Performance," *Transactions on Engineering Technologies*, pp. 229–243, Oct. 2018, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2191-7_17.
- [8] Peraturan Menteri ESDM Nomor 15 Tahun 2013, "JDIH KESDM," jdih.esdm.go.id, 2013. <https://jdih.esdm.go.id/index.php/web/result/801/detail> (accessed Mar. 25, 2023).
- [9] FSAE Rules, "FSAE: Formula SAE," www.fsaeonline.com, 2023. <https://www.fsaeonline.com/>
- [10] Braune, Nils, 2014, "Telemetry Unit for a Formula Student Race Car," Thesis, Institut für Technische Informatik und Kommunikationsnetze, ETH Zürich
- [11] Z. Taha et al., "Application of Data Acquisition and Telemetry System into a Solar Vehicle," *2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications*, 2010, doi: <https://doi.org/10.1109/iccea.2010.26>.
- [12] Suhaeb, S., Djawad, Y . A., Jaya, H., Ridwansyah, Sabran, & Risal, A. 2017. *Mikrokontroler dan Interface*. Universitas Negeri Makasar, Makasar
- [13] I. C. Kurniawan. 2021. *Rancang Bangun Battery Management System dengan Passive Balancing untuk Baterai Lithium Ion 18650*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta