

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM AKUISISI DATA PADA EDDY CURRENT DYNAMOMETER BERBASIS ESP32 DAN INTELLIJ IDEA UNTUK SEPEDA MOTOR

Khoirul Anwar¹, Nazaruddin Sinaga², Bambang Yunianto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: khoirulanwar05101999@gmail.com

Abstrak

Dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan di bidang semikonduktor dan programming menyebabkan segala bidang mengalami digitalisasi dan automasi. Dengan perkembangan teknologi yang sangat pesat sangat banyak dampak terhadap pola kehidupan manusia. Teknologi pun menjadi bagian yang tidak bisa dipisahkan pada era modern ini. Salah satu model ilmu pengetahuan yang banyak digunakan adalah sistem akuisisi data. Sistem akuisisi data merupakan salah satu bentuk teknologi dibidang instrumentasi dengan pengambilan dan pemrosesan data dari suatu besaran tertentu yang ingin diukur. Pengambilan data dari proses-proses pengerjaan suatu mesin ataupun penggunaan sistem akuisisi data dapat mempermudah proses pengambilan data sehingga data langsung dapat digunakan. Tujuan penelitian yang digunakan adalah merancang dan membuat sistem akuisisi data dari dynamometer arus eddy menggunakan AVR dengan basis ESP32 dan membuat *software interface* untuk menunjukkan data hasil pengujian secara real-time menggunakan IntelliJ Idea dengan bahasa pemrograman Kotlin. Sistem akuisisi data yang dibuat meliputi data torsi, daya, rpm mesin, rpm roller, konsumsi bahan bakar, temperatur udara masuk ruang bakar, temperatur *exhaust*, temperatur lingkungan dan kelembaban relatif. Sensor yang digunakan untuk mengukur besaran-besaran yang diperlukan dilakukan kalibrasi terlebih dahulu menggunakan alat kalibrasi yang sesuai. Hasil kalibrasi sensor rpm roller didapatkan error relatif rata-rata 1,92%, sedangkan rpm mesin didapatkan error relatif sebesar rata-rata 0,46%, dan error relatif rata-rata untuk loadcell 0,13%. Hasil perancangan sistem akuisisi data akan dilakukan pengujian terhadap lima sepeda motor empat langkah dengan spesifikasi yang berbeda-beda. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan sistem akuisisi data dapat bekerja dengan baik dimana didapatkan data torsi dan daya setiap sepeda motor dengan metode pengujian absorpsi dan inersia.

Kata kunci: daya; dynamometer; pengukuran; sistem akuisisi data; torsi

Abstract

With the development of technology and science in the field of semiconductors and programming, all fields are digitized and automated. With the rapid development of technology, there are many impacts on the pattern of human life. Technology has become an inseparable part of this modern era. One of the widely used scientific models is a data acquisition system. Data acquisition system is a form of technology in the field of instrumentation with data collection and processing of a certain amount to be measured. Retrieval of data from the processes of working on a machine or the use of a data acquisition system can simplify the data collection process so that the data can be used directly. The research objectives used were to design and create a data acquisition system from an eddy current dynamometer using an AVR based on ESP32 and create a software interface to show test results data in real-time using IntelliJ Idea with the Kotlin programming language. The data acquisition system created includes data on torque, power, engine rpm, roller rpm, fuel consumption, air temperature entering the combustion chamber, exhaust temperature, ambient temperature and relative humidity. The sensor used to measure the required quantities is calibrated first using an appropriate calibration tool. The results of the calibration of the rpm roller sensor obtained an average relative error of 1.92%, while the engine rpm obtained a relative error of 0.46% on average, and an average relative error of 0.13% for loadcell. The results of the data acquisition system design will be tested on five four-stroke motorcycles with different specifications. From the results of the tests that have been carried out the data acquisition system can work well where the torque and power data of each motorcycle are obtained using the absorption and inertia test methods.

Keywords: data acquisition system; dynamometer; measurement; power; torque

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penggunaan sepeda motor di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan pesat. Hal tersebut dikarenakan sepeda motor merupakan salah satu mesin mobilitas yang banyak digunakan oleh masyarakat dan juga sepeda motor sangat praktis untuk digunakan selain harga yang terjangkau dibandingkan kendaraan motor lainnya. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia mencatat, jumlah sepeda motor yang masih beroperasi di seluruh Indonesia pada 2018 mencapai 106.657.952 unit, dan mengalami peningkatan pada tahun 2019 mencapai 112.771.136 unit dan pada tahun 2020 mencapai 115.023.039 unit [1].

Oleh karena itu, dibutuhkan perawatan untuk menjaga performa motor tetap optimal seperti servis ringan, *cleaning*, dan *tune up*. Namun proses tersebut tidak dapat dinyatakan dalam bentuk data karena tidak didukung oleh parameter – parameter yang jelas sebagai tolak ukur maka dibutuhkan pengukuran. Parameter sebagai performa suatu mesin dapat dilihat berdasarkan torsi, daya, dan *spesfic fuel consumption* yang dihasilkan oleh mesin tersebut [2]. Semakin besar dan torsi yang mampu dihasilkan mesin, maka performa mesin tersebut akan semakin baik. Namun berbanding terbalik dengan besaran sfc, dimana semakin besar sfc maka performa mesin tersebut akan semakin buruk [3]. Untuk mendapatkan pengukuran dengan tepat, maka dibutuhkan sebuah alat ukur yaitu dinamometer.

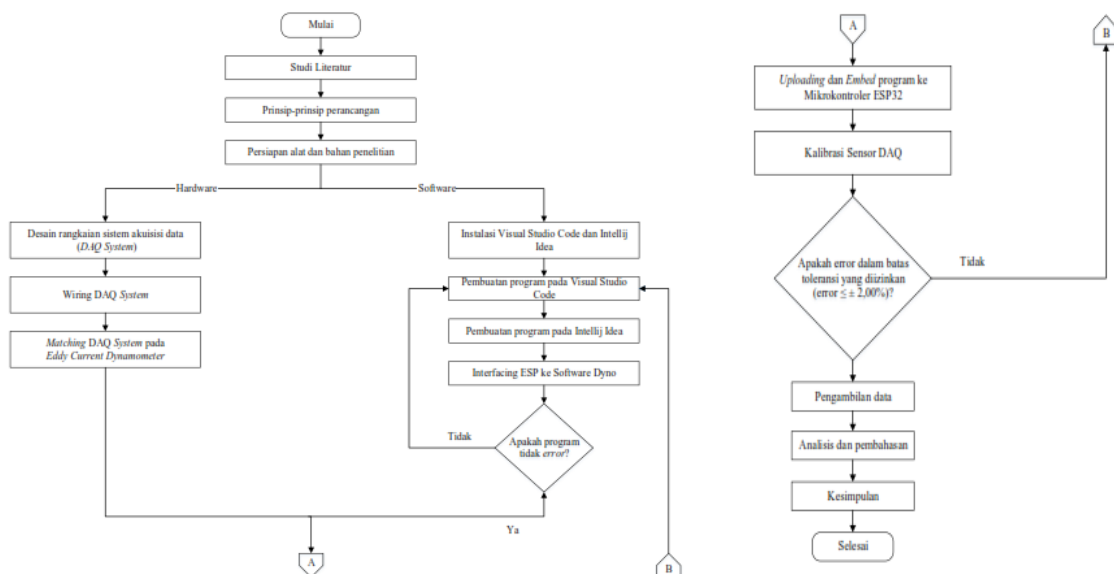
Dinamometer merupakan alat yang mengukur torsi, gaya atau daya yang berasal dari poros berputar, dinamometer merupakan alat yang diciptakan untuk mengukur torsi dan power maksimal yang didapatkan pada RPM tertentu [4]. Selain mengetahui Selain mengetahui nilai torsi dan daya, penelitian ini juga mengukur nilai konsumsi bahan bakar dari sebuah sepeda motor. Hal ini dikarenakan penggunaan konsumsi bahan bakar menjadi parameter keiritan pada sebuah sepeda motor. Untuk mendapatkan nilai akurat, pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan menggunakan dinamometer agar mendapatkan nilai rpm *engine* yang stasioner dengan variasi rpm *engine* sehingga mengetahui nilai keiritan bahan bakar pada rpm *engine* tertentu. Berdasarkan metode pengukurannya, dinamometer dibedakan menjadi 2 yakni, *Engine Dynamometer (ED)* dan *Chassis Dynamometer (CD)*. Pada metode ED, pengukuran dilakukan dengan menghubungkan langsung poros penggerak utama biasanya disebut *engine* dengan poros dari ED, sedangkan CD pengukuran dilakukan poros pada CD dikopel dengan poros *engine* dengan menggunakan *drive roller* dimana daya dialirkan oleh kendaraan uji [5].

Kemajuan teknologi, alat pengukuran pun mulai mengalami perubahan konsep pengukuran yaitu sistem akuisisi data. Sistem akuisisi data adalah sistem instrumentasi elektronik yang terdiri dari beberapa elemen yaitu, perangkat keras, perangkat lunak, *wiring*, dan sensor. Elemen – elemen tersebut bertujuan untuk merekam, mengukur dan mengolah hasil pengukuran. Sistem akuisisi data memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan pengukuran secara konvensional pada saat ini dikarenakan dipengaruhi beberapa faktor yaitu dapat melakukan pengukuran dan penyimpanan secara akurat, visualisasi, dan *realtime* [6].

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian yang diterapkan dalam melakukan perancangan sistem akuisisi data pada dinamometer sasis sepeda motor dapat diuraikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Prinsip-Prinsip Perancangan

Dalam melakukan perancangan sebuah produk, terdapat beberapa prinsip-prinsip dasar yang harus diperhatikan sehingga produk yang kita desain sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Matriks morfologi merupakan salah satu bentuk metode morfologi yang digunakan untuk menentukan konsep suatu produk. Metode morfologi sendiri merupakan suatu metode yang digunakan untuk menemukan banyak alternatif konsep produk, secara sistematis dan dengan prosedur yang mudah diikuti [7].

2.3 Metode Pengujian

Pada penelitian ini, terdapat 3 metode pengujian yakni pengujian dinamometer sasis inersia, dinamometer absorpsi, dan pengujian konsumsi bahan bakar. Untuk masing – masing pengujian, dijelaskan dibawah ini :

a. Pengujian dinamometer inersia dan absorpsi

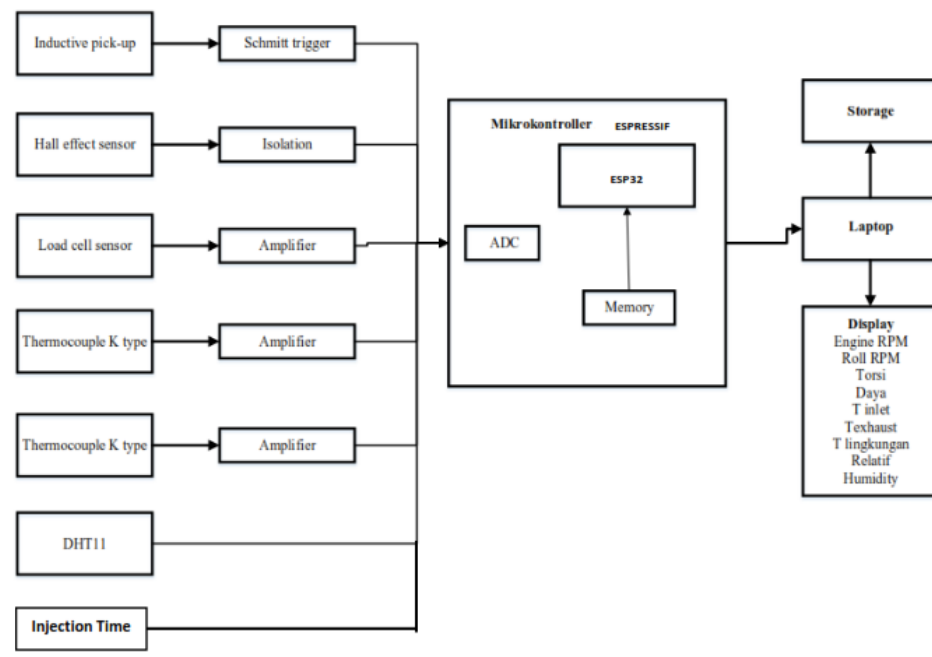
Metode pengujian dinamometer sasis baik inersia maupun absorpsi menggunakan metode *sweep test*. *Sweep test* merupakan pengujian dimana mesin diuji dengan beban konstan, kemudian putaran rpm *engine* dinaikkan hingga mencapai putaran tertinggi atau yang diinginkan. Dinamometer sistem absorpsi dan inersia dapat menggunakan metode tersebut. Pada penelitian ini pengujian dilakukan pada kondisi WOT (*wide open throttle*).

b. Pengujian *fuel consumption*

Pengujian konsumsi bahan bakar menggunakan sepeda motor Honda Bear Fi 110 cc, dengan menggunakan dinamometer *eddy current* sebagai pengereman agar mencapai rpm *engine* yang stasioner. Dan pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi putaran rpm *engine* yaitu memvariasikan rasio *throttle position* (tps) agar mendapatkan nilai *specific consumption* pada putaran *engine* tertentu.

2.4 Rangkaian Sistem Akuisisi Data

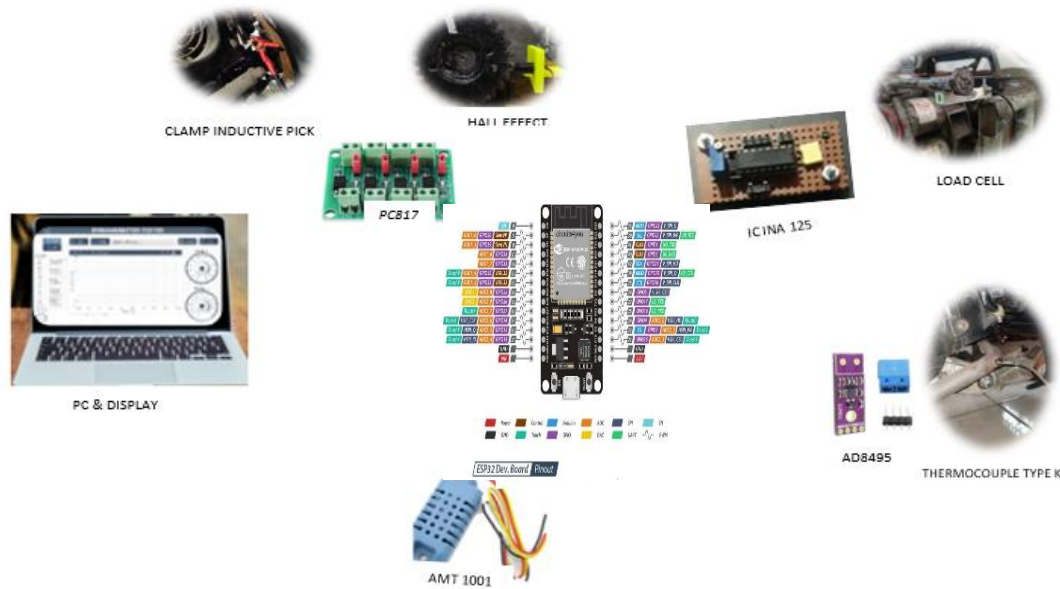
Akuisisi data yang digunakan disusun menggunakan komponen utama berupa perangkat akuisisi data yaitu ESP32 sebagai mikrokontroler serta berbagai modul yang digunakan yang berfungsi sebagai pengkondisian sinyal sesuai dengan kebutuhan sensor – sensor yang digunakan. Berikut blok diagram yang dapat menjelaskan secara jelas untuk rangkaian sistem akuisisi data pada dinamometer dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok sistem akuisisi data

Komponen – komponen penyusun dari data akuisisi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk mengukur gaya menggunakan sensor *load cell* dimana membutuhkan pengkondisian sinyal yakni op-amplifier yaitu modul HX711 untuk mengubah orde mv menjadi volt dari keluaran *loadcell*. *Amplifier* merupakan komponen yang dapat mengubah suatu sinyal dari suatu level tertentu ke suatu sinyal dengan level yang berbeda, dimana sinyal tersebut bisa berupa sinyal tegangan atau arus [8]. *Gain* tegangan pada *amplifier* merupakan perbandingan dari output dan input tegangan yang diukur relatif terhadap bumi [9]. Selain *op-amplifier* pada rangkaian sensor induktif *pick-up* digunakan rangkaian *protection*. Kelebihan arus dapat diatasi dengan menggunakan rangkaian beberapa resistor sedangkan untuk mengatasi kelebihan tegangan dan polaritas dapat digunakan sirkuit diode Zener [10]. Kemudian didalam rangkaian induktif *pick-up* juga dibuat rangkaian filter dimana berfungsi untuk menyaring frekuensi yang tidak diinginkan. *Filtering* (penyaringan) merupakan proses yang digunakan untuk menghilangkan bagian tertentu dari pita frekuensi kemudian mentransmisikan beberapa frekuensi yang diizinkan. Secara umum *filtering* dibagi menjadi 4 jenis yaitu; (1) *Low pass filter*, (2) *High pass filter*, (3) *Band-pass filter*, dan (4)

Band-stop filter.



Gambar 3. Komponen penyusun sistem akuisisi data

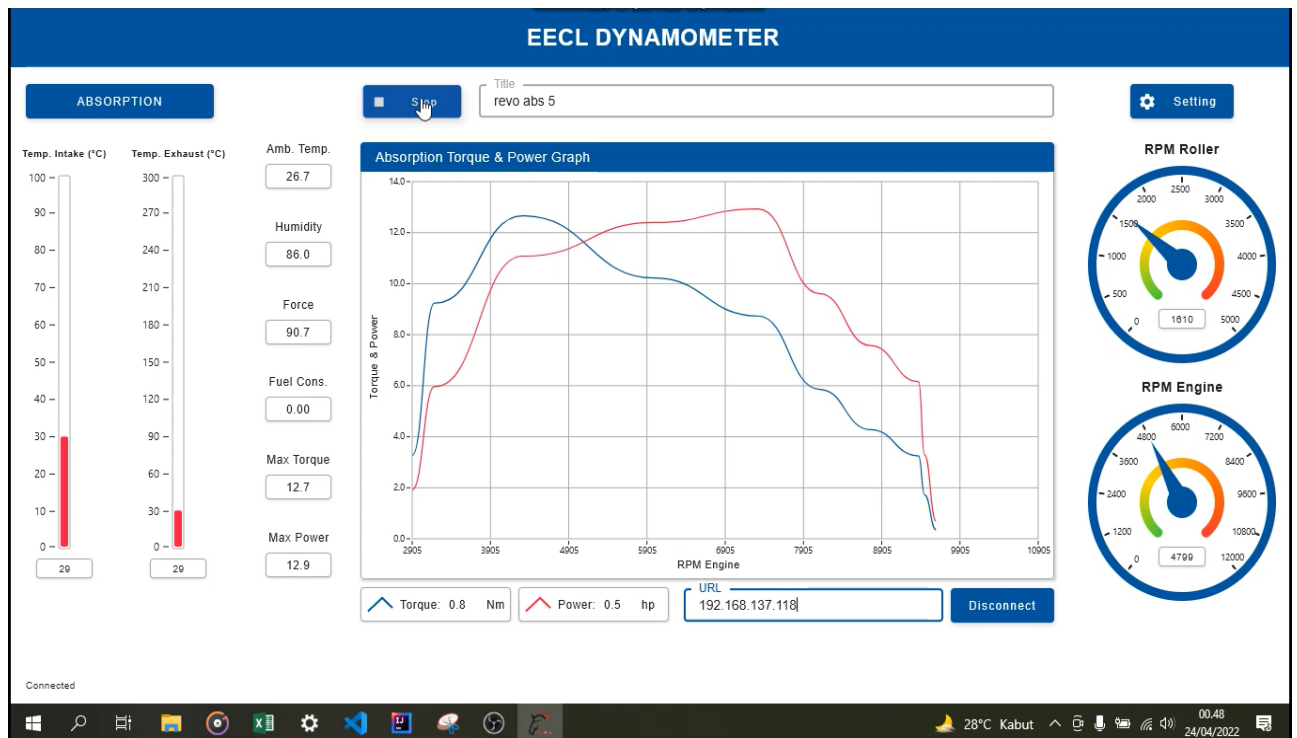
Sedangkan untuk mengukur putaran rpm *engine*, rpm roller dan *fuel consumption* menggunakan pengkondisian sinyal yaitu *optocoupler* pc 817 yang berfungsi sebagai pemisah antara 2 rangkaian atau lebih yang memiliki sumber tegangan berbeda, dimana bagian rangkaian setelah *transmitter* berfungsi sebagai pengaman. Pada penelitian menggunakan ESP32 yang dapat menerima tegangan maksimal 5-12 VDC, maka untuk besaran tegangan yang diamankan berada pada rentang 4 – 5 VDC. Semua perangkat yang sudah tersusun tergabung dalam *DAQ Hardware*. *DAQ Hardware* merupakan sekumpulan sistem elektronik yang berfungsi sebagai penghubung antara sinyal digital dan computer [6].

Dalam merancang sistem akuisisi data tidak akan bias berjalan sebagaimana mestinya jika tidak ada bagian *software*. *DAQ software* merupakan instrument yang menghubungkan user dengan komputer dan *hardware*. *Software* merupakan komponen utama dalam sistem akuisisi data yang dapat dituliskan berbagai macam bahasa pemrograman ataupun aplikasi khusus untuk mendesainnya. Biasanya *DAQ software* terdiri dari *textbased user* (TUI) yang terdiri dari sebuah file konfigurasi ASCII dan *graphic user interface* (GUI) [6]. Dalam penelitian ini *software* sistem akuisisi data yang digunakan adalah Visual Studio Code dan IntelliJ Idea. Penggunaan Visual Studio Code digunakan dalam pemrosesan, analisis data dari perangkat keras untuk ditampilkan kepada komputer. Dari host komputer program dituliskan kemudian akan di compile sehingga akan merubahnya ke dalam bahasa mesin (biner code) kemudian bahasa mesin tersebut akan diolah dan diproses sedemikian rupa oleh ESP32 sehingga akan menghasilkan output tertentu sesuai keinginan user. Dalam penelitian ini output data ESP32 berupa data string akan dikirim menggunakan URL atau koneksi WiFi ke *software* yang sudah dikembangkan.

3. Hasil dan pembahasan

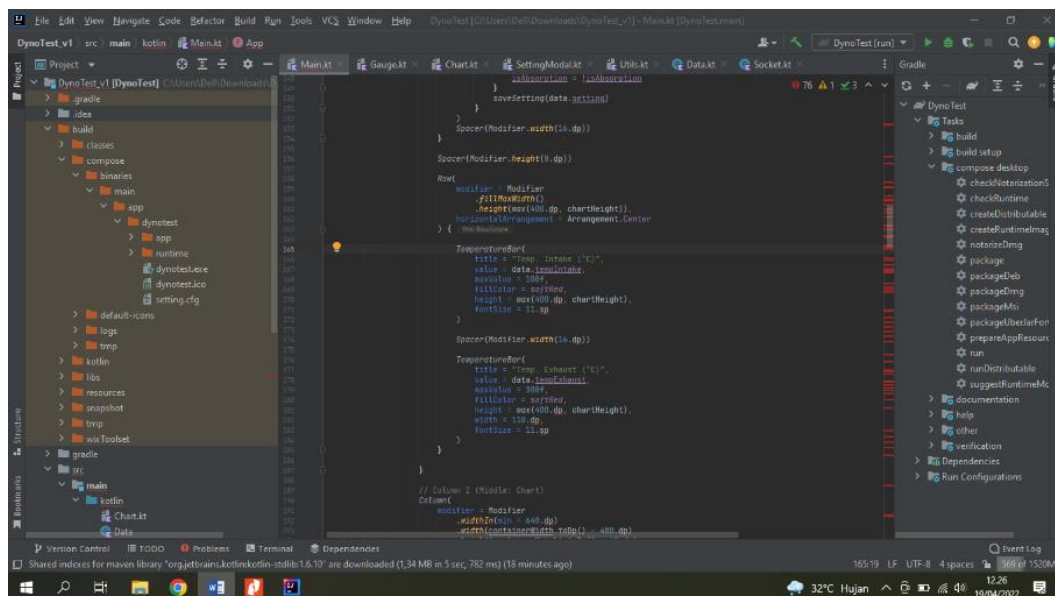
3.1 Hasil Perancangan

Sistem akuisisi data yang dibuat meliputi sistem akuisisi data torsi, daya, rpm roller dan rpm mesin. Pembuatan sistem akuisisi data menggunakan IntelliJ Idea sebagai *software IDE* dengan bahasa pemrograman Kotlin. Dan arsitektur. Hasil dari pembuatan sistem akuisisi data dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai *graphic user interface*. Pada bagian sisi kiri dan kanan terdapat tampilan icon dari variabel – variabel yang terukur. Tampilan dinyatakan dengan dua tipe yaitu tampilan berupa nilai digital dan analog yang mana kedua – duanya terintegrasi dengan tampilan grafik yang berada pada bagian sebelah kanan. Pada bagian kiri tampilan sistem akuisisi data terdapat beberapa tombol pengoperasian seperti tombol pilihan untuk melakukan uji dinamometer secara absorpsi dan inersia. Dan ada juga tombol start untuk memulai pengujian, dan tombol reset ketika selesai melakukan pengujian. Dan tombol settings untuk memasukkan nilai yang dapat diubah seperti massa roll, lengan dyno, kalibrasi *load cell*, efisiensi transmisi hal ini agar memudahkan untuk melakukan perubahan pergantian konstanta dalam perhitungan secara matematis. Pembacaan nilai yang terukur akan ditampilkan dalam satuan yang sesuai. Pada sistem akuisisi yang telah dibuat untuk torsi dinyatakan dengan N.m, daya dalam bentuk HP, serta rpm dalam satuan rotasi per menit, konsumsi bahan bakar dengan satuan mikroliter per detik, temperature dengan satuan celcius dan gaya pembebanan *loadcell* dengan satuan newton.



Gambar 4. Hasil tampilan *graphic user interface* (GUI)

Terdapat langkah-langkah dalam pembuatan *graphic user interface* (GUI) menggunakan IntelliJ Idea dan Kotlin sebagai bahasa pemrograman. Membuat aplikasi seperti tampilan pada Gambar 5 merupakan tipe pemrograman yang sudah *object-oriented programming*. Dalam membuat GUI sama halnya kita melukis didalam *canvas* dimana kita perlu memperhatikan ukurannya dalam bentuk pixel. Langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat aplikasi seperti Gambar 5 dimulai dengan membuat *class* tiap-tiap bentuk seperti temperature bar, *analog gauge meter*, *field text*, *text box* dan bentuk atau ikon lain yang dibutuhkan untuk menampilkan data. Merancang aplikasi juga perlu diperhatikan kemungkinan bug yang muncul dengan meng-*handle* exception yang diprediksi akan terjadi. Bagian terakhir yang harus diperhatikan adalah pengiriman data baik itu serial maupun wireless menggunakan *web socket*. Aplikasi yang sudah dibuat diatas menggunakan dua tipe pengiriman data dari server ke aplikasi, yaitu menggunakan USB dan *web socket* dimana aplikasi menjadi *client* atau sebagai penerima data dari mikrokontroler untuk ditampilkan secara real-time.



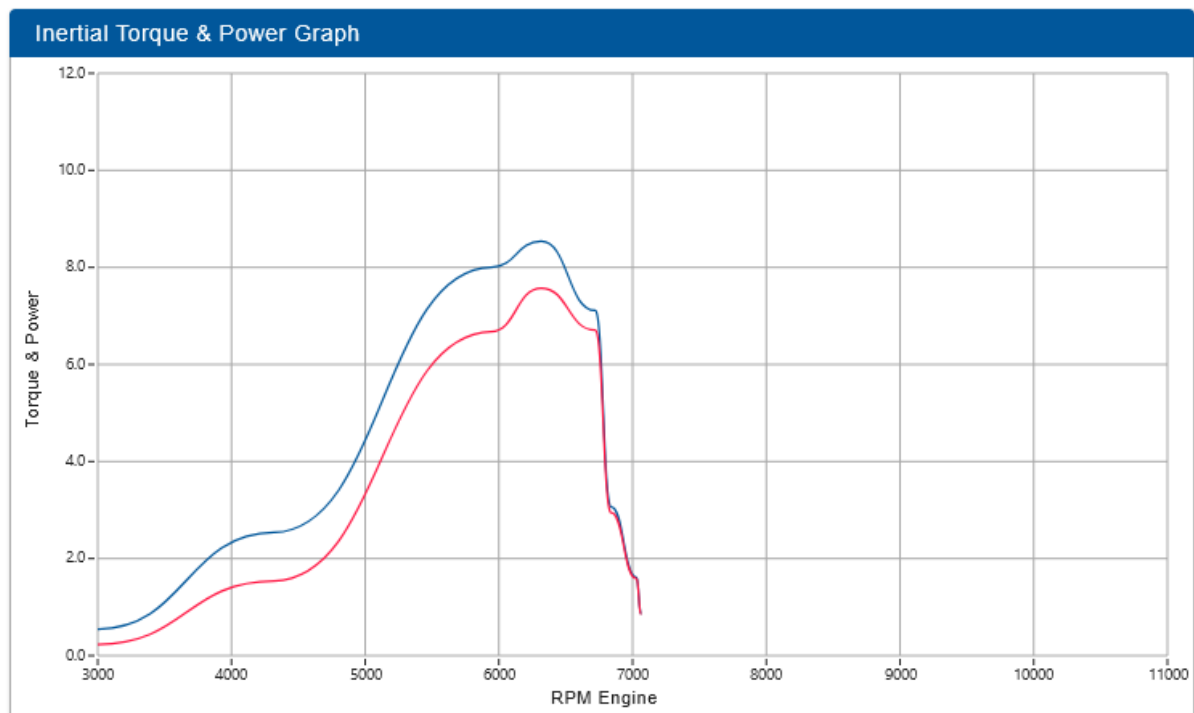
Gambar 5. Main program untuk software EECL Dynotest

3.2 Hasil dan Analisis Pengujian Torsi dan Daya Dinamometer Inersia

Hasil pengukuran Beat Fi 110 cc pada dynamometer inersia, nilai torsi maksimum yaitu 8,11 Nm pada putaran *engine* 5657 rpm dan daya maksimum yaitu 6,44 HP pada putaran *engine* 5835 rpm.

Tabel 1. Hasil pengujian tosi dan daya dynamometer inersia Honda Beat FI 110 cc

RPM Engine (rpm)	Torsi Engine (Nm)	Daya Engine (HP)	Temp. Exhaust (°C)	Temp. Ambient (°C)	Humidity (%)	RPM Roller (rpm)
2743,57	0,20	0,08	164,65	32,30	65,22	288,55
2864,38	0,86	0,35	168,10	32,30	65,22	342,46
2978,58	1,32	0,55	171,18	32,30	65,20	387,62
3259,38	2,41	1,11	172,66	32,30	65,23	505,08
3812,88	3,94	2,11	174,79	32,30	65,22	719,35
4245,77	4,94	2,95	175,72	32,30	65,26	902,68
4516,80	5,37	3,41	175,83	32,30	65,29	1020,25
4797,77	6,36	4,29	176,06	32,30	65,32	1146,76
5181,88	7,24	5,27	176,50	32,30	65,31	1329,41
5471,26	7,82	6,00	176,57	32,30	65,25	1470,64
5657,22	8,11	6,44	176,77	32,30	65,27	1564,50
5910,90	7,24	6,01	176,89	32,30	65,28	1691,75
6308,03	5,52	4,87	177,24	32,30	65,30	1893,44
6562,82	4,18	3,85	177,95	32,30	65,30	2020,63
6651,51	3,54	3,30	178,10	32,30	65,33	2077,42
6755,41	2,32	2,20	178,59	32,30	65,40	2161,10
6834,28	0,77	0,74	187,63	32,26	65,40	2222,12



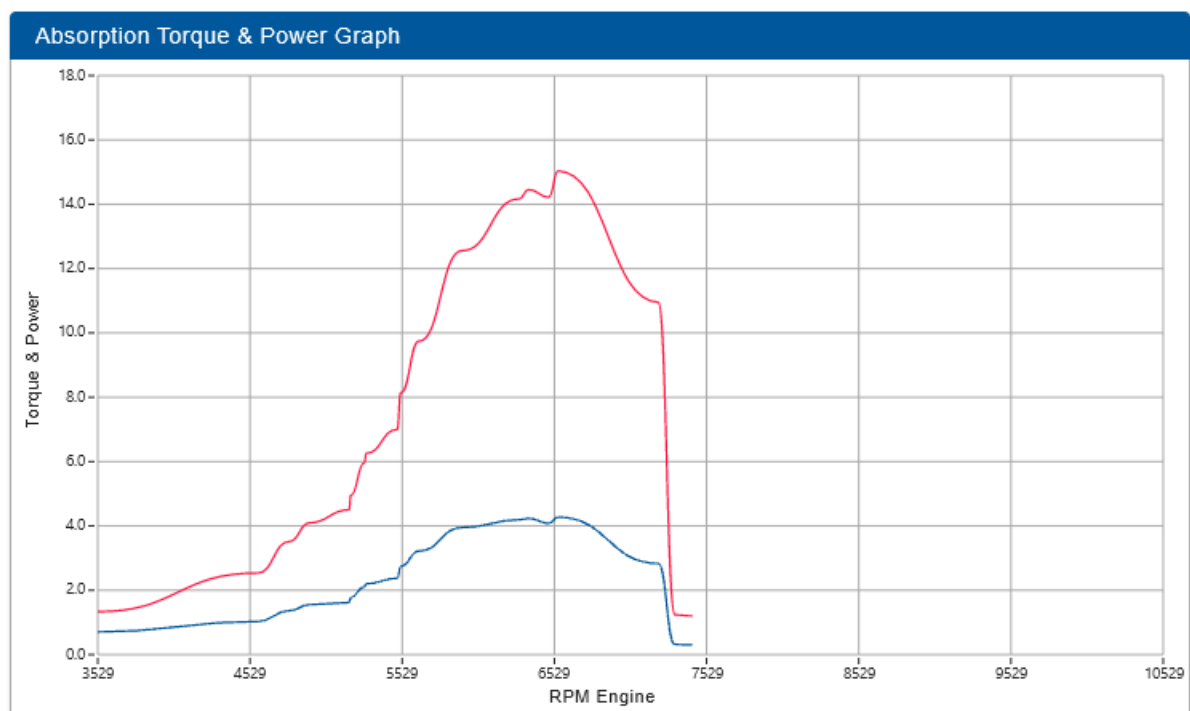
Gambar 6. Grafik torsi dan daya dynamometer inersia terhadap putaran *engine* Beat 110 cc

3.3 Hasil dan Analisis Pengujian Torsi dan Daya Dinamometer Absorpsi

Hasil pengukuran Beat Fi 110 cc pada dynamometer absorpsi, nilai torsi maksimum yaitu 7,58 Nm pada putaran *engine* 6635 rpm dan daya maksimum yaitu 9,97 HP pada putaran *engine* 6858 rpm.

Tabel 2. Hasil pengujian torsi dan daya dynamometer absorpsi beat 110 cc

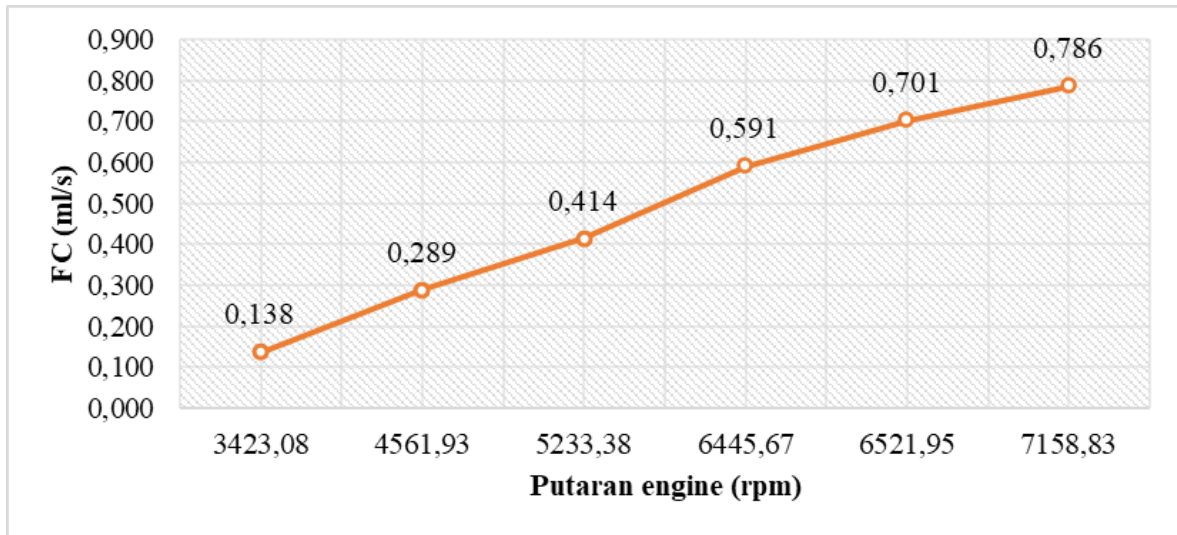
Rpm engine (rpm)	Torsi engine (Nm)	Daya engine (HP)	Temp. engine (°C)	Temp. ambient (°C)	Humidity (%)	Rpm roller (rpm)	Gaya (N)
8336,56	0,58	0,98	183,91	29,81	84,25	2202,65	16,66
8253,83	1,18	1,96	191,61	29,86	87,62	2198,56	31,86
8145,40	1,78	2,92	195,78	29,86	88,50	2198,56	49,81
8055,55	2,30	3,75	199,66	29,84	88,76	2198,56	64,35
7954,31	2,87	4,62	202,15	29,82	88,95	2198,56	80,68
7856,12	3,39	5,39	203,25	29,81	89,08	2198,56	94,13
7768,93	3,81	5,99	206,86	29,81	89,14	2198,56	102,95
7639,09	4,40	6,80	210,60	29,81	89,14	2198,56	113,81
7496,87	5,01	7,59	213,24	29,81	89,14	2198,56	126,40
7347,91	5,60	8,31	214,96	29,81	89,12	2198,56	136,35
7235,40	6,14	8,94	217,81	29,81	89,06	2198,78	146,44
7054,82	6,62	9,45	218,75	29,81	88,90	2194,03	158,08
6953,14	6,93	9,75	219,06	29,81	88,78	2179,68	166,34
6858,78	7,19	9,97	219,41	29,80	88,63	2151,78	173,89
6742,28	7,45	10,14	220,36	29,81	88,33	2097,95	182,74
6635,58	7,58	10,15	223,26	29,83	88,09	2026,32	189,31
6536,79	7,58	9,99	225,56	29,84	87,91	1937,46	195,19
6443,80	7,45	9,67	228,63	29,86	87,81	1832,79	198,18
6354,13	7,16	9,17	228,84	29,87	87,79	1712,61	197,37
6265,17	6,72	8,50	228,89	29,87	87,85	1576,22	195,69
6107,46	5,51	6,84	232,90	29,85	88,04	1302,29	189,19
5944,89	3,80	4,61	237,48	29,81	88,04	990,84	173,80
5851,47	1,67	1,96	239,39	29,81	87,54	527,04	134,63



Gambar 7. Grafik torsi dan daya dynamometer absorpsi terhadap putaran *engine* bear 110 cc

3.4 Analisis Fuel Consumption Beat 110 cc

Satuan nilai *fuel consumption* atau konsumsi bahan bakar adalah ml/s pada putaran rpm tertentu, yang tersaji pada Gambar 8 dibawah ini. Berdasarkan gambar dibawah ini, dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi putaran rpm *engine* maka semakin besar pula nilai konsumsi bahan bakar yang dibakar pada ruang bahan bakar. Putaran rendah pada 3423 rpm nilai *fuel consumption* sebesar 0,138 ml/s sedangkan putaran penuh pada 7158 rpm nilai *fuel consumption* sebesar 0,786 ml/s. Faktor yang mempengaruhi nilai *fuel consumption* yang dihasilkan adalah waktu injeksi pembakaran atau bukaan injektor pada rpm tertentu, dimana jumlah bahan bakar yang diinjeksikan sebanding dengan waktu injeksi yang dikontrol oleh ECU setelah mendapatkan perintah dari sensor tps. Semakin tinggi putaran rpm *engine* maka semakin lama waktu bukaan injektor, jadi jumlah bahan bakar yang diinjeksikan semakin banyak pula [8].

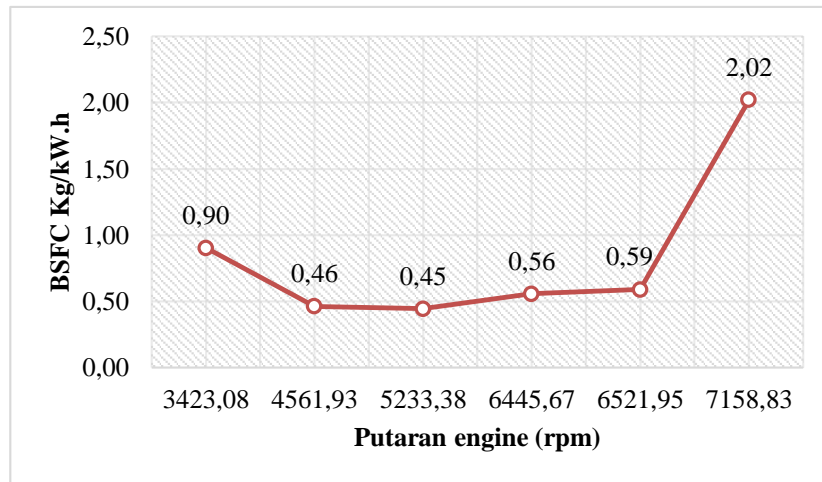


Gambar 8. Grafik *fuel consumption* terhadap variasi rasio tps

3.5 Analisis Brake Specific Fuel Consumption Beat 110 cc

Nilai *brake specific fuel consumption* (bsfc) merupakan perbandingan antara konsumsi bahan bakar yang digunakan dan daya yang dihasilkan. Untuk mengubah satuan menjadi massa bahan bakar per satuan waktu dengan massa jenis bahan bakar bensin sebesar 0,728 g/ml. Dengan menggunakan persamaan dibawah ini, perhitungan bsfc pada pengujian konsumsi bahan bakar dengan rasio tps 33% pada putaran rpm 4561 rpm adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 bsfc &= \frac{\dot{m}_{bb}}{P} \cdot 3600 \\
 bsfc &= \frac{(0,289 \cdot 0,728) \frac{g}{s}}{(2,19 \cdot 0,7457) kW} \cdot 3600 \\
 bsfc &= \frac{(0,21 \cdot 10^{-3}) \frac{Kg}{h}}{1,63 kW} \cdot 3600 \\
 bsfc &= 0,46 \frac{Kg}{kWh}
 \end{aligned}$$



Gambar 8. Grafik BSFC terhadap variasi rasio tps

3.6 Perhitungan Ketidakpastian Pengukuran Torsi dan Daya

Nilai perhitungan ketidakpastian pengukuran atau *uncertainty* pada torsi dan daya dan *bsfc* menggunakan metode perhitungan *addition in quadrature* yaitu dengan mengakarkan kuadrat jumlah nilai ketidakpastian pengukuran dari parameter atau variabel yang terkait dari torsi, daya, dan *bsfc* untuk persamaan yang digunakan seperti dibawah ini. Hal tersebut dikarenakan, besaran seperti torsi, daya dan *bsfc* merupakan ketidakpastiannya merupakan *independent* dan *random*. Untuk contoh perhitungan, menggunakan nilai dari torsi *engine* pada dinamometer inersia berikut perhitungan yang dilakukan.

$$\delta_q = \sqrt{(\delta x)^2 + (\delta z)^2 + \dots + (\delta n)^2}$$

Untuk contoh perhitungan pada ketidakpastian pengukuran menggunakan metode *addition in quadrature* yaitu menghitung ketidakpastian pengukuran dari torsi *engine* dari dinamometer inersia berikut dibawah ini perhitungan yang dilakukan,

$$T_e = \frac{(T_r \times N_r)}{(N_e \times \eta \text{ transmisi})}$$

$$T_e = \frac{[I \times \alpha] \times N_r}{N_e \times \eta \text{ transmisi}}$$

$$T_e = \frac{[(0,5 \times m \times r \times r) \times \alpha] \times N_r}{N_e \times \eta \text{ transmisi}}$$

Berdasarkan persamaan diatas, maka menggunakan dasar pengukuran ketidakpastian atau *uncertainty* pada seperti pada data dibawah ini. Pada ketidakpastian pengukuran massa, efisiensi transmisi, dan konstanta 0,5 dapat diabaikan atau 0%. Jadi perhitungan yang langsung menggunakan ketidakpastian dari putaran roll, putaran *engine* dan radius roll seperti dibawah ini.

1. Putaran roll (N_r) = $N_r \pm 1,21\%$
2. Putaran *engine* (N_e) = $N_e \pm 0,96\%$
3. Radius roll (R) = $R \pm 0,65\%$

$$\frac{\delta_T}{T} = \sqrt{\left(\frac{\delta_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{N_r}}{N_r}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{N_e}}{N_e}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(0,65\%)^2 + (0,65\%)^2 + (1,21)^2 + (0,96)^2}$$

$$= 1,64\%$$

Jadi untuk ketidakpastian pengukuran pada torsi *engine* pada dinamometer inersia yaitu $\delta T_e = \bar{T}_e \pm 1,64\%$. Untuk perhitungan ketidakpastian daya *engine* pada dinamometer inersia, torsi dan daya dinamometer absorpsi, dan *brake specific fuel consumption* menggunakan metode *addition in quadrature* akan tetapi masing – masing elemen ditentukan oleh

persamaan parameter tersebut. Berikut hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Perhitungan ketidakpastian pengukuran

No	Metode Pengujian	Parameter	Ketidakpastian Pengukuran δ (%)
1	Inersia	Torsi	1,64
		Daya	1,46
2	Absorbsi	Torsi	1,68
		Daya	1,5
3	<i>Fuel consumption</i>	BSFC	2,87

4. Kesimpulan

- Perancangan dan pembuatan sistem akuisisi data dinamometer sasis sepeda motor telah dapat mengakuisisi data torsi dan daya secara numerik dan *realtime*. Dengan nilai ketidakpastian pengukuran torsi dan daya pada inersia masing – masing $\delta_{T_e} = T_e \pm 1,64\%$ $\delta_{P_e} = P_e \pm 1,46\%$ dan ketidakpastian pengukuran torsi dan daya pada absorpsi masing – masing $\delta_{T_e} = T_e \pm 1,68\%$ dan $\delta_{P_e} = P_e \pm 1,68\%$.
- Perancangan dan pembuatan sistem akuisisi data pada pengujian *fuel consumption* telah dirancang dan dibuat dan mengakuisisi data nilai *fuel consumption* pada sepeda motor Honda Beat Fi 110 cc. Dengan nilai ketidakpastian pengukuran $\delta_{F_c} = F_c \pm 2,45\%$.

5. Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik (BPS). (2022). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2018 – 2020*. Jakarta Pusat; Badan Pusat Statistik
- [2] Pulkrabek, W. W . (1997). *Engineering Fundamentals Of Theinternal Combustion Engine* New Jersey: Prentice Hall.
- [3] Purba, D.A. (2019). *Kaji Modifikasi Mesin Diesel Tipe R-180 Menjadi Dwi Bahan Bakar Biosolar-LPG Menggunakan Sistem Akuisisi Data Berbasis Arduino*. (Skripsi). Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang.
- [4] Supriyo, S. (2012). *Perancangan Dan Pembuatan Dinamometer Arus Eddy Untuk Pengujian Kendaraan Bermotor Kapasitas 130 Kw* (Doctoral Dissertation, Program Pascasarjana Undip).
- [5] Killedar, J. S. (2012). *Dynamometer: Theory And Application To Engine Testing*. Xlibris Corporation.
- [6] Emilio, M. D. P. (2013). *Data Acquisition Systems, From Fundamentals To Applied Design*. Springer.
- [7] Harsoekoesoemo, H.D. 2004. *Pengantar Perancangan Teknik Perancangan Produk*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [8] Hiticas, I., Marin, D., & Mihon, L. (2013). *Modelling and operational testing of pulse-width modulation at injection time for a spark-ignition engine*. *Tehnički vjesnik*, 20(1), 147-153.
- [9] Alciatore, D.G., Hiestand, M.B. 2012. *Introduction To Mechatronics and Measurement Systems 4th Edition*. New York: McGraw – Hill.
- [10] Bolton, W. 2015. *Mechatronics: A Multidisciplinary Approach 6* Pearson Education.