



PENGUKURAN KECEPATAN PUTARAN GENERATOR DAN MOTOR PENGGERAK DENGAN SENSOR *HALL-EFFECT*

Nadya Muflihasari¹, Tjendro², B.Wuri Harini³, Martanto^{4*}

^{1,2,3,4}Sanata Dharma University (Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia)
*Email : (martanto@usd.ac.id)

Abstrak

Putaran generator dipengaruhi oleh motor penggerak yang dihubungkan melalui *pulley* dan *belt* sehingga putaran generator dan motor penggerak akan sama sesuai dengan perbandingan diameter *pulley* yang digunakan. Adanya perbedaan putaran generator dan motor penggerak menyebabkan perbedaan daya keluaran yang dihasilkan dengan daya keluaran yang diinginkan. Oleh karena itu, diperlukan alat ukur untuk memantau kecepatan putaran generator dan motor penggerak. Pengukuran ini menggunakan 2 alat yang akan diletakkan pada generator dan motor penggerak. Kedua alat ukur ini saling berkomunikasi melalui komunikasi serial. Magnet akan ditempelkan pada puli generator dan puli motor penggerak. Sensor *hall-effect* akan mendeteksi ketika ada magnet yang melewatinya. Pengukuran kecepatan putaran generator dibandingkan dengan *tachometer* acuan memiliki nilai rata – rata *error* sebesar 0,24%. Pengukuran putaran motor penggerak dibandingkan dengan *tachometer* memiliki nilai rata – rata *error* sebesar 0,24%. Sistem komunikasi antar mikrokontroler berhasil semua tetapi terkadang komunikasi *delay*.

Kata kunci: *hall-effect*, pengukur putaran motor, kecepatan putar

MEASUREMENT OF GENERATOR AND MOTOR DRIVE SPEEDS USING HALL-EFFECT SENSOR

Nadya Muflihasari¹, Tjendro², B.Wuri Harini³, Martanto^{4*}

^{1,2,3,4}Sanata Dharma University (Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia)
*Email : (martanto@usd.ac.id)

Abstract

The rotation of the generator is influenced by the driving motor which is connected through the pulley and belt so that the rotation of the generator and the driving motor will be the same according to the ratio of the diameter of the pulley used. The difference between the rotation of the generator and the driving motor causes a difference in the output power produced and the desired output power. Therefore, a measuring instrument is needed to monitor the rotational speed of the generator and the driving motor. This measurement uses 2 tools that will be placed on the generator and the driving motor. These two measuring instruments communicate with each other via serial communication. Magnets will be attached to the generator pulley and the drive motor pulley. The hall-effect sensor will detect when a magnet

is passing through it. The measurement of the rotational speed of the generator compared to the reference tachometer has an average error value of 0.24%. The measurement of the rotation of the driving motor compared to the tachometer has an average error value of 0.24%. The communication system between the microcontrollers is successful, but sometimes communication delays.

Keywords: hall-effect, motor speed meter, rotational speed

Pendahuluan

Kecepatan putar generator merupakan salah satu penyebab besar kecilnya daya keluaran yang dihasilkan oleh generator. Adanya perbedaan putaran generator dan motor penggerak dapat menyebabkan perbedaan daya keluaran yang dihasilkan dengan daya keluaran yang diinginkan. Pemantauan kecepatan putaran generator dan motor penggerak dapat menghindari adanya perbedaan daya keluaran tersebut maka diperlukan alat ukur yang dapat memantau kecepatan putaran generator dan motor penggerak. Sensor *hall-effect* adalah sensor yang dirancang untuk merasakan adanya objek magnetis dengan perubahan posisinya (Muhlisin, F., 2017). Kelebihan dari sensor *hall-effect* yaitu dapat digunakan untuk mengukur kecepatan putaran secara non kontak sehingga alat dapat tahan lama dan juga tahan terhadap perubahan suhu. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan sensor *hall-effect* untuk mengukur kecepatan generator dan motor penggerak.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian berkaitan dengan pengukuran kecepatan generator dengan sensor *hall-effect* seperti pada skripsi yang berjudul “*Rekondisi Turbin Generator Pada Mini Plant Boiler dengan Menggunakan Turbin Generator Ampere Model JFZ168*” (Muhlisin, F., 2017) dan penelitian yang berjudul “*Perancangan Instrumen Ukur Torsi Dan Kecepatan Motor DC Dengan Prinsip Nonkontak Berdasarkan Deteksi Medan Magnet*” (Idayanti et al, 2016). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu pengukuran kecepatan putaran digunakan untuk mengukur kecepatan generator dan motor penggerak dan melihat apakah terjadi perbedaan putaran atau tidak. Pengukuran ini menggunakan 2 mikrokontroler yang akan diletakkan pada generator dan motor penggerak. Kedua alat ukur ini dapat saling berkomunikasi melalui komunikasi serial. Magnet akan ditempelkan pada poros generator dan poros motor penggerak. Ketika rotor berputar, poros juga akan berputar. Sensor *hall-effect* akan mendeteksi Ketika ada magnet yang melewatinya. Penelitian ini akan menghitung waktu yang diperlukan untuk magnet terdeteksi. Data hasil pengukuran rpm akan ditampilkan di LCD, disimpan pada SD-Card dan dimonitor melalui GUI. Penelitian ini bertujuan sebagai bahan referensi mengenai kecepatan putaran generator dan motor penggerak pada pengujian generator magnet permanen putaran rendah dan bahan referensi untuk mahasiswa dalam melakukan penelitian.

(Tachometer)

Tachometer merupakan alat yang dirancang untuk mengukur kecepatan putaran. *Tachometer* berasal dari bahasa Yunani yaitu *taxoc*, *tachos* yang berarti kecepatan dan *metron* yang berarti untuk mengukur (Enny, E., 2018). *Tachometer* terdiri atas beberapa macam salah satunya yaitu *tachometer* rotor bergigi.

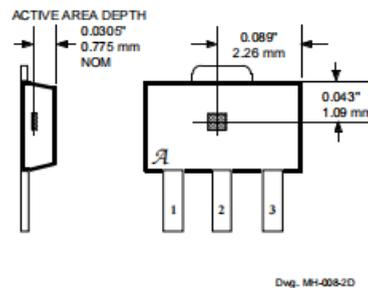
Tachometer rotor bergigi terdiri atas sensor stasioner dan roda besi yang berputar. *Tachometer* ini memiliki prinsip kerja yaitu ketika rotor berputar maka rotor bergigi akan diukur dan sensor akan mendeteksi setiap gerigi yang

melewatinya. Pada *tachometer* rotor bergigi, sensor yang digunakan dapat berupa *variable reluctance* sensor atau sensor *hall-effect*. Kelebihan dari *tachometer* ini yaitu data pulsa yang dihasilkan jernih berupa sinyal kotak (Killian, 2000). Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan dengan prinsip *tachometer* rotor bergigi dengan sensor *hall-effect*. Tetapi ada perbedaan yaitu roda besi tempat untuk menempelkan magnet tidak berbentuk gerigi melainkan berbentuk roda rata yang berupa poros generator dan motor penggerak. Pendeteksian medan magnet ini akan dilakukan dengan menggunakan sensor *hall-effect* tipe 3144.

(Sensor hall-effect)

Sensor *hall-effect* memiliki prinsip kerja yaitu ketika sebuah konduktor pembawa arus ditempatkan pada medan magnet maka akan dihasilkan tegangan yang tegak lurus terhadap arus dan medan magnet. Ketika medan magnet tegak lurus hadir, gaya Lorentz diberikan pada arus. Gaya Lorentz ini mengganggu jalannya arus distribusi sehingga menyebabkan perbedaan tegangan potensial (tegangan *Hall*) di keluaran. Elemen *hall* terbuat dari lembaran tipis berbahan konduktif dengan koneksi outputnya tegak lurus ke arah aliran arus.

Tipe dasar sensor *hall-effect* terbagi menjadi 2 yaitu bipolar dan unipolar. Sensor bipolar memiliki titik operasi maksimum positif (kutub selatan) dan titik pelepasan minimum negatif (kutub utara). Sensor unipolar memiliki titik operasi maksimum dan titik pelepasan minimum adalah positif (kutub selatan) (“Honeywell Inc”, n.d). Untuk merancang deteksi magnet didapat dari datasheet bahwa area aktif dari sensor dapat dilihat pada Gambar 1 (Allegro, 2002).



Gambar 1. Area aktif sensor

Penelitian ini menggunakan modul sensor *hall-effect*. Modul sensor *hall-effect* memiliki 2 data keluaran berupa analog dan digital. Modul sensor *hall-effect* memiliki 4 kaki yaitu *VCC*, *ground*, *D0*, *A0*. Pada penelitian ini, hanya menggunakan 3 kaki yaitu *VCC*, *ground* dan *D0*. Pin *D0* digunakan sebagai input *interrupt* yang berfungsi untuk menghitung waktu yang dibutuhkan untuk 1 kali putaran. Oleh karena itu, pin *D0* dihubungkan dengan pin *D2* dan *D3* pada Mikrokontroler 1 yang merupakan pin *interrupt*.

(Generator magnet permanen)

Generator merupakan suatu sistem yang menghasilkan tenaga listrik dengan masukan tenaga mekanik (Marappung, M., 1979). Generator bekerja berdasarkan hukum Faraday yang menjelaskan bahwa adanya perubahan fluks magnetik pada suatu kumparan akan menimbulkan GGL induksi pada ujung – ujung kumparan tersebut. Perbedaan kecepatan putar medan magnet dan kecepatan rotor disebut *slip*

(Prasetijo, H., Ropiudin, & Dharmawan, B., 2012) Generator magnet permanen putaran rendah dibuat untuk masukan dari putaran rendah. Putaran rendah didapat dari pemanfaatan energi terbarukan seperti air, angin, termal matahari. Putaran rendah dipengaruhi oleh banyaknya *pole* atau kutub. Semakin banyak *pole* maka semakin rendah putaran yang dihasilkan. Pada penelitian sebelumnya, magnet permanen yang digunakan berjumlah 12 kutub dan diletakkan di bagian rotor. Hubungan antara kecepatan, banyak kutub dan frekuensi dapat menggunakan persamaan (Prasetijo, H., Ropiudin, & Dharmawan, B., 2012):

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60} \quad (1)$$

Keterangan :

n = Kecepatan putar rotor (*rpm*)

p = Jumlah kutub rotor

f = Frekuensi tegangan (*Hz*)

(Motor penggerak)

Istilah Motor penggerak yang digunakan merupakan motor induksi 3 fasa Prinsip kerja motor induksi yaitu bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik yang dihasilkan dari kumparan stator yang diinduksikan pada kumparan rotor. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut *slip*. Kecepatan medan putar stator dapat ditulis dengan persamaan (Evalina, N., H, Abdul.A., & Zulfikar, 2018):

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (2)$$

Keterangan :

N_s = Kecepatan putaran stator (*rpm*)

F = Frekuensi (*Hz*)

P = Jumlah kutub

(Poros)

Poros merupakan komponen mekanis yang berfungsi untuk mentransmisikan gerak berputar dan daya. Poros adalah satu kesatuan dari sembarang sistem mekanis dimana daya dari penggerak utama akan ditransmisikan ke bagian lain dari sistem (Mott, R.L., 2019).

(Pulley)

Pulley merupakan elemen mesin untuk mentransmisikan tenaga dari poros yang satu ke poros yang lain dengan menggunakan *belt*. Dibawah ini adalah perbandingan kecepatan pada *pulley*, dapat menggunakan persamaan (Sularso & Suga, K., 2004).

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (3)$$

Keterangan :

N_1 = Putaran pulley penggerak (*rpm*)

N_2 = Putaran pulley yang digerakkan (*rpm*)

d_1 = Diameter pulley penggerak (*mm*)

d_2 = Diameter pulley yang digerakkan (*mm*)

(V-belt)

V-Belt adalah salah satu media yang digunakan untuk transmisi daya pada suatu mesin. Media ini berbentuk sebuah sabuk yang terbuat dari karet dan memiliki

penampang trapesium maupun persegi tergantung pada tipe, jenis dan kegunaannya. Beberapa hal yang mempengaruhi kemampuan *V-belt* dalam memindahkan tenaga yaitu kecepatan *V-belt*, tegangan *belt* terhadap *pulley*, gesekan antara *V-belt* dan *pulley*, sudut kontak antara *belt* dan *pulley* (Sularso & Suga, K., 2004). Ketika pemakaian besarnya tegangan *belt* pasti mengalami perubahan panjang antara sisi kendur dan sisi tegang. Proses menyamakan kembali perubahan panjang yang berbeda menimbulkan gerakan *relative* dari *belt* pada *pulley*. Gerakan ini dinamakan *slip* kemuluran. *Slip* kemuluran dapat ditentukan melalui persamaan (Siburian, J. D., 2019).

$$\%Slip = \frac{\text{Selisih putaran}}{n_T} \times 100\% \quad (4)$$

$$\%Slip = \frac{n_T - n_A}{n_T} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

n_T = Kecepatan Teoritis (rpm)

n_A = Kecepatan Aktual (rpm)

(Metode pengukuran frekuensi)

Metode ini merupakan metode untuk mencari rpm dengan mengetahui frekuensi pulsa terlebih dahulu. Pengukuran rpm dapat menggunakan persamaan (OPTO22, 2013).

$$RPM = \frac{(\text{Frekuensi denyut dalam pulsa/detik}) \times (60 \text{ detik/menit})}{\text{Pulsa sensor/putaran}} = \frac{\text{Putaran}}{\text{menit}} \quad (6)$$

$$RPM = \frac{\text{Frekuensi} \times 60}{PPR} \quad (7)$$

Keterangan :

PPR = Pulse Per Revolutions

Dalam penelitian ini, sensor yang digunakan adalah sensor yang mendeteksi ada tidaknya medan magnet. Oleh karena itu, magnet menjadi PPR. Banyaknya magnet berarti jumlah pulsa yang dideteksi sensor setiap 1 putaran semakin banyak. Metode ini akan berlaku baik ketika nilai putaran berlangsung secara cepat.

(Metode pengukuran periode)

Metode ini merupakan metode untuk mencari rpm dengan mengetahui periode terlebih dahulu. Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk satu kali putaran. Dimana periode merupakan waktu dari awal satu pulsa ke awal pulsa berikutnya. Pengukuran rpm dapat menggunakan persamaan (OPTO22, 2013).

$$RPM = \frac{60}{\text{Periode Pulsa} \times PPR} \quad (8)$$

Keterangan :

PPR = Pulse Per Revolutions

Dalam penelitian ini, sensor yang digunakan adalah sensor yang mendeteksi ada tidaknya medan magnet. Oleh karena itu, magnet menjadi PPR. Hubungan frekuensi dan periode dapat dilihat pada persamaan (OPTO22, 2013).

$$\text{Frekuensi} = \frac{1}{\text{Periode}} \quad (9)$$

(Mikrokontroler ATmega328)

Arduino nano terdiri atas Mikrokontroler ATmega328. Mikrokontroler ATmega328 mempunyai tegangan operasi 1,8 sampai 5,5V dengan kisaran suhu -40°C sampai 85°C. ATmega328 ini memiliki memori 32KB memori *flash*, 1KB EEPROM, 2KB SRAM. Selain itu, mikrokontroler ini juga mendukung komunikasi USART, SPI dan TWI/I2C. ATmega328 memiliki Timer/Counter 1 16-bit dan Timer/Counter 2 8-bit (Atmel, 2009).

(Arduino nano)

Arduino nano memiliki 14 pin digital yang berfungsi sebagai input atau output yang dapat dijalankan dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Setiap pin memberi atau menerima arus maksimum 40mA dan mempunyai resistor pull-up internal sebesar 20-50kOhm. Beberapa pin digital pada Arduino nano ini memiliki fungsi khusus yaitu (Arduino, 2015),

1. Seri : 0 (RX) dan 1 (TX) Pin ini digunakan untuk menerima dan mengirimkan data serial TTL. Pin 0 (RX) digunakan untuk menerima dan pin 1 (TX) untuk mengirim. Pin ini terhubung ke pin yang sesuai dari chip Serial FTDI USB-to-TTL.
2. Interupsi Eksternal : 2 dan 3 Pin ini digunakan untuk memicu interupsi baik interupsi pada nilai rendah, tepi naik atau interupsi tepi turun atau interupsi ketika terjadi perubahan nilai.
3. PWM : 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 Pin ini berfungsi untuk menyediakan output PWM 8-bit dengan fungsi `analogWrite()`.
4. SPI : 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) Pin ini digunakan untuk mendukung komunikasi SPI.
5. LED : 13 Pin ini terhubung dengan built-in LED.

(Arduino Mega)

Arduino mega 2560 dapat diaktifkan melalui kabel USB yang mempunyai konektor berjenis A dan B yang dihubungkan dengan komputer. Selain cara itu, Arduino dapat aktif dengan catu daya eksternal (power jack). Berikut spesifikasi Arduino Mega 2560 (Atmel, 2005).

Mikrokontroler	: ATmega 2560
Jumlah pin digital	: 54
Jumlah pin input analog	: 16
Jumlah pin PWM	: 15
Pin LED bawaan	: 13
Mendukung komunikasi	: UART, I2C, SPI
Tegangan operasi	: 5V
Tegangan masukan	: 7 – 12V
Tegangan maksimum	: 6 – 20V
Daya arus DC setiap pin I/O	: 20mA
Clock speed	: 16MHz
Memori	: 8KB SRAM, 256KB <i>flash</i> , 4KB EEPROM

(Komunikasi SPI)

Serial Peripheral Interface (SPI) merupakan protokol data serial sinkron untuk berkomunikasi jarak pendek dengan menggunakan satu atau lebih perangkat *peripheral* (Arduino, 2019a). Untuk menggunakan SPI diperlukan *library #include <SPI.h>*. Beberapa pin yang digunakan dalam komunikasi SPI yaitu,

1. MISO (*Master In Slave Out*) : merupakan jalur pengiriman data ke *master* yang dipakai oleh *slave*.
2. MOSI (*Master Out Slave In*) : merupakan jalur pengiriman data ke peripheral yang dipakai oleh *master*.
3. SCK (*Serial Clock*) : merupakan pulsa *clock* yang dihasilkan oleh *master* untuk sinkronisasi transmisi data.
4. (*Slave Select*) : merupakan pin untuk mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat *slave*. Pin SS aktif rendah.

(Komunikasi UART)

Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) merupakan komunikasi serial yang digunakan untuk komunikasi antar arduino, komputer atau perangkat lain. Komunikasi dapat dilakukan dengan menggunakan *library* *SoftwareSerial* pada Arduino IDE yang mendukung komunikasi serial pada pin digital (Arduino, 2019b).

(Komunikasi I2C)

Inter Integrated Circuit (I2C) merupakan protokol komunikasi serial antar IC. I2C terdiri atas SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*). Sistem I2C dapat dioperasikan sebagai *master* atau *slave*. *Master* merupakan perangkat yang memulai komunikasi pada I2C dan *slave* merupakan perangkat yang bertugas untuk merespon perintah yang diberikan *master* (Soares, N. N. V. D. F., 2017).

(RS-485)

Komunikasi RS-485 menggunakan MAX485 menghasilkan *transceivers* berdaya rendah. MAX485 dibuat untuk aplikasi *half-duplex* yang memiliki kecepatan mengirim dan menerima data hingga 2,5Mbps. Komunikasi ini dapat menjangkau hingga 4000 kaki. MAX485 mempunyai impedansi input penerima yaitu $12k\Omega$ standar. Pin RO dan DI dihubungkan pada pin serial yaitu pin TX2 dan RX2 (Maxim Integrated, 2014).

(LCD 16x2 dan modul I2C)

Liquid Cristal Display (LCD) merupakan komponen elektronika untuk menampilkan data yang dapat berupa karakter, huruf ataupun grafik (Nasution, A. C., Sudaryanto, S., & Arifin J., 2018). Disini LCD akan di hubungkan dengan mikrokontroler. Untuk menghemat jumlah pin maka digunakan modul I2C.

(RTC DS1302)

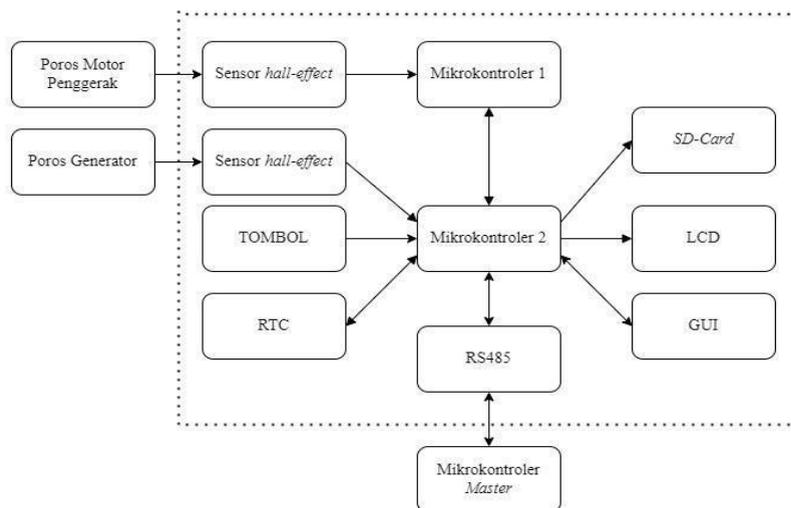
Modul *real-time clock* (RTC) DS1302 merupakan modul yang terdiri dari chip DS1302 yang dilengkapi dengan crystal 32 kHz dan cadangan baterai. DS1302 adalah chip pengatur waktu yang mengelola semua fungsi ketepatan waktu. Chip ini berisi jam/kalender *real-time* yang memberi informasi mengenai detik, menit, jam, hari, tanggal dan bulan serta tahun. Selain itu, chip ini juga berisi 31 byte RAM statis. RTC DS1302 dapat bekerja pada tegangan 5V dengan suhu operasional -40°C sampai +85°C (Maxim Integrated, 2015).

(Python)

Pada pengujian ini, python akan digunakan untuk membuat GUI dengan menggunakan *Library* *tkinter*. GUI digunakan sebagai *interface* untuk monitor datapengukuran. Python adalah bahasa pemrograman multiguna dan berfokus pada tingkat keterbacaan kode (Syahrudin, A. N. & Kurniawan, T., 2018).

Metode

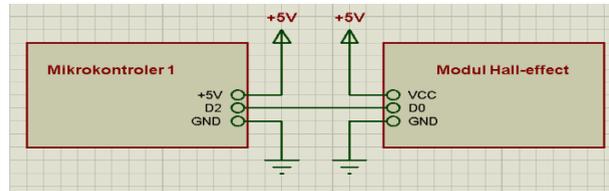
Pengukuran kecepatan putaran generator dan motor penggerak merupakan salah satu sistem dari beberapa pengukuran yang dilakukan dalam pengujian generator magnet permanen putaran rendah. Penelitian ini fokus pada pengukuran kecepatan putaran generator. Pada Gambar 1, ditunjukkan diagram blok sistem yang bekerja pada pengukuran kecepatan ini. Diagram ini terdiri atas komunikasi serial antar mikrokontroler. Bagian utama program ini terletak pada Mikrokontroler 1 dan Mikrokontroler 2 sedangkan Mikrokontroler *Master* merupakan tempat pengumpulan data yang tidak termasuk fokus pada penelitian ini. Mikrokontroler 1 menggunakan Arduino nano dan Mikrokontroler 2 menggunakan Arduino Mega2560. Pada Mikrokontroler 1, program akan berjalan ketika ada masukan dari Mikrokontroler 2 bahwa tombol telah ditekan. Setelah itu, Mikrokontroler 1 mendapat masukan dari modul *hall-effect* yang datanya akan diolah dan diberikan ke Mikrokontroler 2. Pada Mikrokontroler 1, modul *hall-effect* memberikan nilai pembacaan pengukuran kecepatan putaran motor penggerak. Pada Mikrokontroler 2, terjadi pengolahan data yang lebih kompleks yaitu terdapat masukan dari tombol, modul *hall-effect*, data kecepatan putaran dari Mikrokontroler 1 dan RTC sebagai sumber pewaktuan pengambilan data. Pada Mikrokontroler 2 ini, modul *hall-effect* memberikan hasil pembacaan pengukuran kecepatan putaran generator. Hasil pengolahan data dari Mikrokontroler 2 akan ditampilkan melalui LCD, disimpan di *SD-Card*, dan dikontrol melalui GUI serta diberikan ke Mikrokontroler Master melalui protokol komunikasi RS-485.



Gambar 1. Diagram blok sistem

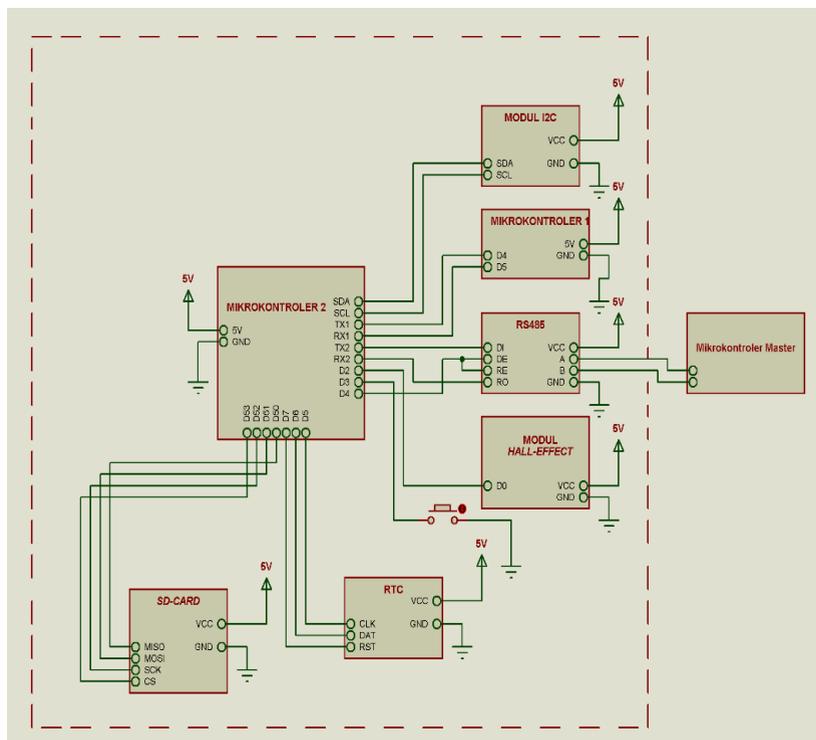
Pada penelitian ini terdapat perancangan perangkat keras yaitu pada mikrokontroler 1 dan mikrokontroler 2. Alat ini dirancang untuk mengukur kecepatan putaran dalam satuan *Revolutions Per Minute* (RPM). Disini modul *hall-effect* bertugas untuk memberi masukan ada tidaknya medan magnet di sekitar. Disini, modul *hall-effect* akan mengirim data berupa “0” ketika ada medan magnet dan “1” ketika tidak ada medan magnet. Mikrokontroler 1 akan menghitung waktu yang dibutuhkan untuk 1 kali putaran yaitu ketika medan magnet terdeteksi lalu

medan magnet tidak terdeteksi dan magnet terdeteksi kembali. Berikut rangkaian antara pin pada Mikrontroler 1 dan modul *hall-effect* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian mikrokontroler 1

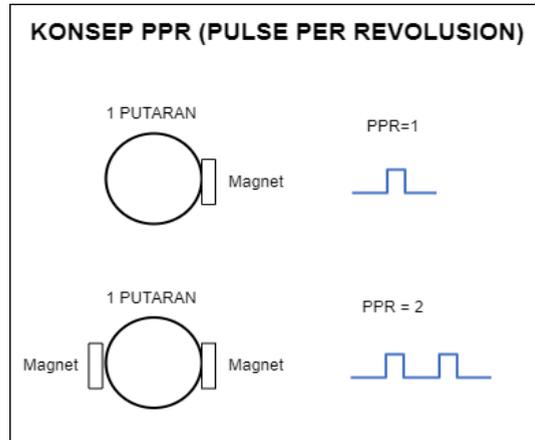
Pada mikrokontroler 2 terdiri dari bagian input dan output. Pada bagian input terdiri dari tombol, modul *hall-effect*, data kecepatan putaran dari Mikrokontroler 1 dan RTC. Kemudian, bagian output terdiri dari *SD-Card*, LCD, GUI dan protokol komunikasi RS485 untuk ke Mikrokontroler *Master*. Berikut rangkaian pada Mikrontroler 2 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian mikrokontroler 2

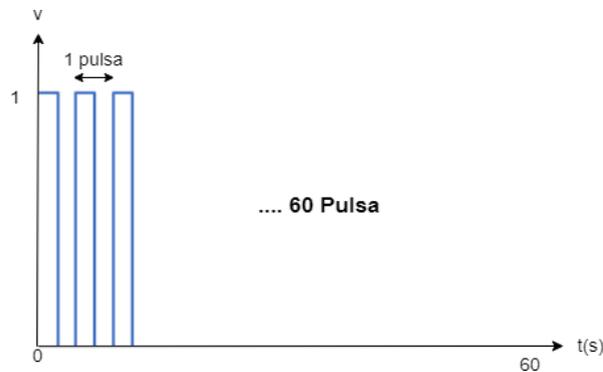
Pada penelitian ini dilakukan perhitungan putaran dengan memperhatikan PPR (*Pulse Per Revolutions*). Konsep PPR dapat dilihat pada Gambar 4. PPR merupakan banyaknya pulsa dalam satu putaran. Jumlah pulsa keluaran untuk satu putaran sama dengan jumlah magnet yang dipasang pada *pulley*. Penelitian ini

menggunakan 1 buah magnet yang diletakkan pada *pulley* generator dan *pulley* motor penggerak. Oleh karena itu, dalam satu putaran terdapat 1 PPR.



Gambar 4. Konsep PPR

Ada 2 metode perhitungan RPM yaitu metode pengukuran frekuensi dan metode pengukuran periode. Metode pengukuran frekuensi menggunakan persamaan 7. Jika dimisalkan dalam 1 menit ada 60 putaran seperti gambar 5.



Gambar 5. Metode pengukuran frekuensi

maka nilai rpm dengan menggunakan persamaan 6 didapat,

$$RPM = \frac{\text{Banyak putaran}}{1 \text{ Menit}}$$

$$RPM = \frac{60}{1} = 60rpm$$

Dengan menggunakan persamaan 9 didapat frekuensi,

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{60}{60} = 1\text{Hz}$$

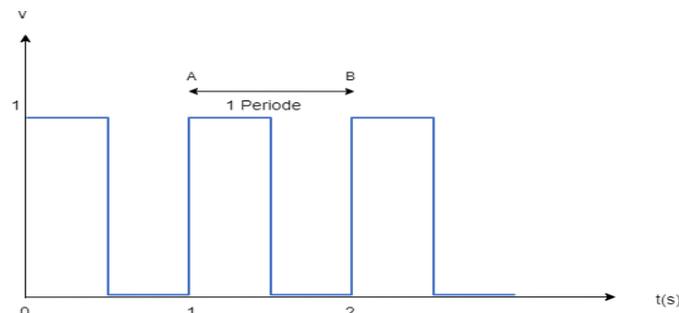
Dari hasil diatas didapat persamaan untuk menghitung rpm menurut metode pengukuran frekuensi yaitu persamaan 7.

$$RPM = \frac{f \times 60}{PPR}$$

$$RPM = \frac{1 \times 60}{1} = 60\text{rpm}$$

Jadi dalam penggunaan metode pengukuran frekuensi di perlukan waktu yang lama yaitu 1 menit atau 60 detik.

Periode merupakan waktu dari awal satu pulsa sebelumnya ke awal pulsa berikutnya. Metode pengukuran periode ini dilakukan dengan menghitung periode yang dibutuhkan untuk satu putaran. Pada Gambar 6, satu periode dapat dicari dengan menghitung awal pulsa waktu terbaru (B) dikurang dengan awal pulsa waktu sebelumnya (A).



Gambar 6. Metode pengukuran periode

Perhitungan periode pada Gambar 6 adalah sebagai berikut:

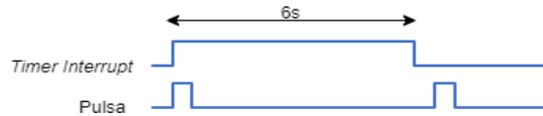
$$Periode = B - A$$

$$Periode = 2 - 1 = 1\text{s}$$

Selanjutnya, metode ini menggunakan persamaan 8 untuk mencari nilai rpm.

$$RPM = \frac{60}{1 \times 1} = 60\text{rpm}$$

Metode ini memiliki kekurangan dimana tidak ada batas waktu untuk menghentikan perhitungan jika tidak ada putaran dalam waktu lama. Dari beberapa metode pengukuran di atas, maka penelitian ini akan melakukan pengukuran putaran dengan menggunakan metode periode. Disini akan dibuat batas waktu 6s. Jika tidak ada putaran dalam waktu 6s maka akan dinyatakan nilai rpmnya nol. Untuk pewaktuan tersebut akan dilakukan dengan menggunakan *timer interrupt*. Berikut gambar ketika rpm bernilai nol dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Keadaan rpm nol

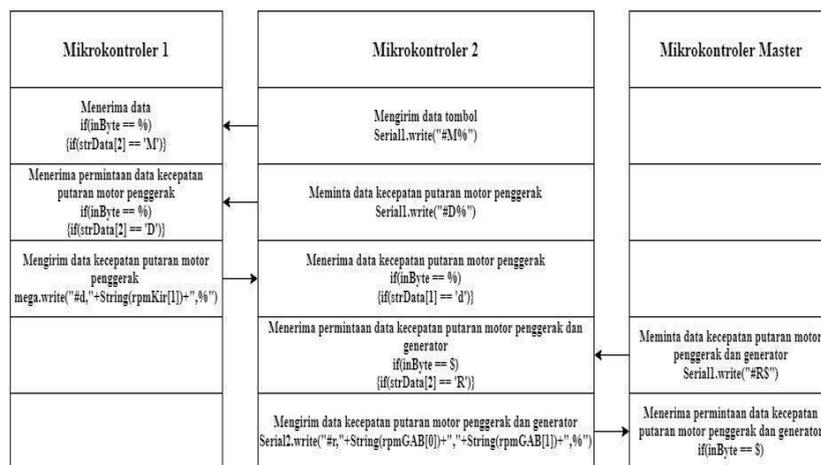
Dari Gambar 7 dapat diketahui bahwa nilai rpm terkecil yang dapat diukur berdasarkan persamaan 8.

$$RPM = \frac{60}{\text{Periode Pulsa} \times PPR} = \frac{60}{6 \times 1} = 10rpm$$

Pewaktuan ini akan dilakukan dengan fungsi *time microsecond*. Alat ukur yang dibuat akan dibandingkan dengan alat ukur teruji berupa *tachometer*.

Pada penelitian ini, terdapat komunikasi serial antar mikrokontroler yaitu Mikrokontroler 1 dengan Mikrokontroler 2, dan Mikrokontroler 2 dengan Mikrokontroler Master. Disini Mikrokontroler 1 dan Mikrokontroler 2 dapat menjadi transmitter atau *receiver*. Oleh karena itu, diperlukan sebuah tanda untuk membedakan bentuk datanya. Berikut ilustrasi mengenai perancangan komunikasi ini dapat dilihat pada Gambar 8.

KOMUNKASI



Gambar 8. Komunikasi sistem

Hasil dan Pembahasan

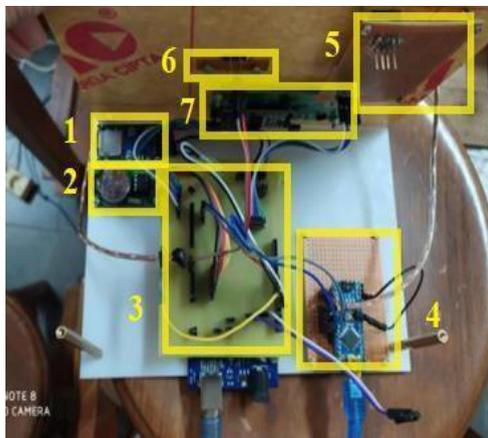
Pada penelitian ini, didapat hasil dan pembahasan yang dibagi menjadi beberapa bagian yaitu bentuk fisik alat, pengujian sistem, dan analisis pengujian serta tampilan output.

(Bentuk fisik alat)

Pengukuran ini memiliki bentuk fisik yaitu 2 tiang untuk mengukur putaran dan 1 kotak untuk meletakkan Arduino Mega 2560, Arduino nano, RTC, *SD-Card*, RS485, LCD dan tombol. Bentuk fisik dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Tampilan alat keseluruhan



Gambar 10. Tampilan dalam alat

Pada Gambar 10 terdapat penomoran yang menunjukkan bagian apa yang terdapat didalam kotak. Keterangan gambar 10 sebagai berikut.

1. SD-Card
2. RTC
3. Arduino Mega 2560
4. Arduino Nano
5. RS485
6. Tombol On/Off
7. LCD

Pada masing–masing tiang pengukur terdapat modul *hall-effect* dan posisi modul terhadap magnet dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Letak modul terhadap magnet

(Pengujian sistem)

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian pada sistem yang terdiri atas beberapa bagian yaitu jarak modul dan kalibrasi pembacaan data kecepatan putaran modul terhadap *tachometer*. Jarak antara modul dan medan magnet mempengaruhi pembacaan modul *hall-effect*. Pada penelitian ini, magnet yang digunakan adalah magnet *neodymium* berbentuk lingkaran dengan ketebalan magnet sebesar 2 mm. Ada 2 ukuran magnet yang akan diuji yaitu magnet dengan diameter 5 mm dan magnet dengan diameter 8 mm. Magnet akan diuji dengan beberapa variasi jarak. Hasil variasi jarak modul dapat dilihat pada *Table 1*.

Table 1. Jarak antara modul dan magnet

Jarak (cm)	Magnet 5 x 2 mm	Magnet 8 x 2 mm
0.4	Terbaca	Terbaca
0.6	Terbaca	Terbaca
0.8	Tidak terbaca	Kadang terbaca
1	Tidak terbaca	Tidak terbaca

Dari hasil tabel diatas, peneliti menggunakan magnet 8 x 2 mm dengan mengaplikasikan jarak antara sensor dan magnet yaitu 0,4 cm. Hal ini dikarenakan bahwa semakin dekat jarak modul dan magnet maka lebih baik.

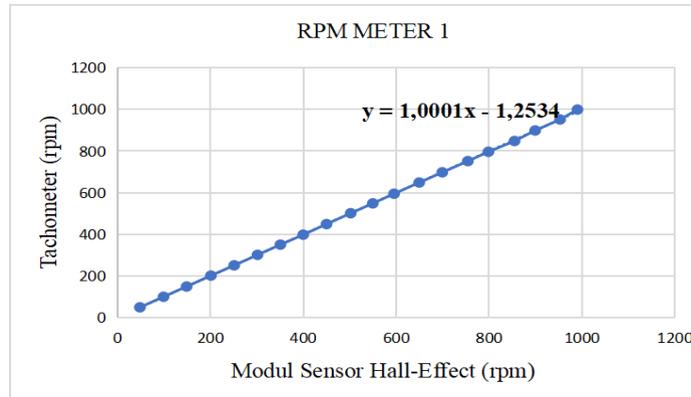
Pada penelitian ini dilakukan kalibrasi pembacaan modul tanpa beban terhadap alat terukur berupa *tachometer*. Kalibrasi ini dilakukan untuk mendapat selisih terkecil antara pembacaan modul dan *tachometer*.

1. RPM Meter 1 Pada Motor Penggerak

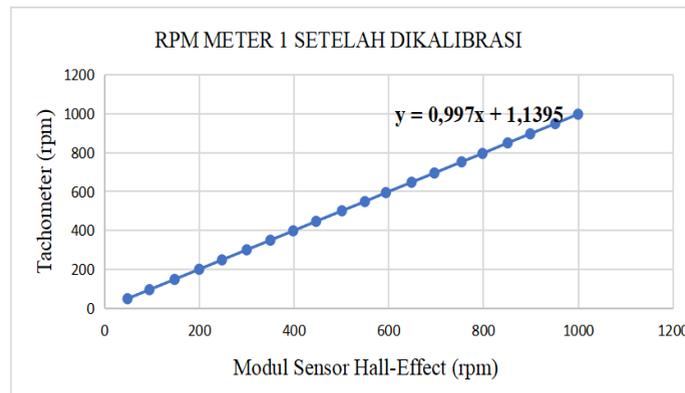
RPM Meter 1 merupakan pembacaan data putaran pada motor penggerak. Pada bagian ini akan dikalibrasi RPM Meter 1 terhadap *tachometer*. Kalibrasi ini dilakukan dengan mengambil data putaran motor penggerak oleh RPM Meter 1 dan *tachometer*. Kemudian akan didapat persamaan garis seperti pada Gambar 12. Dari pengambilan data tersebut didapat nilai rata – rata *error* sebesar 0.36%.

Setelah didapat persamaan garis, persamaan tersebut akan dimasukkan kedalam program dan dilakukan pengambilan data kembali. Dari pengambilan data

ini, didapat persamaan garis yang offsetnya lebih kecil dari persamaan garis sebelumnya. Data RPM Meter 1 setelah kalibrasi dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 13. Dari pengambilan data tersebut didapat nilai rata – rata *error* sebesar 0,24%.



Gambar 12. Persamaan rpm meter 1 sebelum kalibrasi



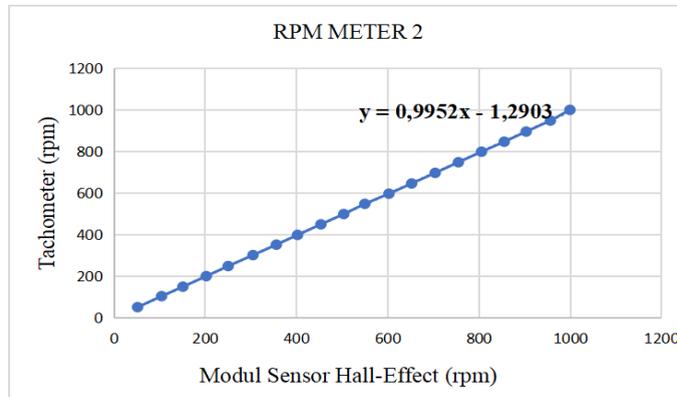
Gambar 13. Persamaan rpm meter 1 setelah dikalibrasi

2. RPM Meter 1 Pada Motor Penggerak

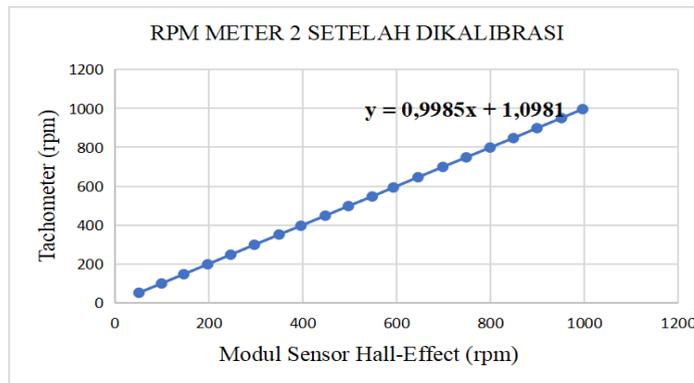
RPM Meter 2 merupakan pembacaan data putaran pada generator. Pada bagian ini akan dikalibrasi RPM Meter 2 terhadap *tachometer* yang dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 14. Kalibrasi ini dilakukan dengan mengambil data putaran generator oleh RPM Meter 2 dan *tachometer*. Kemudian akan didapat persamaan garis seperti pada Gambar 14. Dari pengambilan data tersebut didapat nilai rata – rata *error* sebesar 0,86%.

Setelah didapat persamaan garis, persamaan tersebut akan dimasukkan kedalam program dan dilakukan pengambilan data kembali. Dari pengambilan data ini, didapat persamaan garis yang offsetnya lebih kecil dari persamaan garis sebelumnya. Data RPM Meter 2 setelah kalibrasi dapat dilihat dalam grafik pada

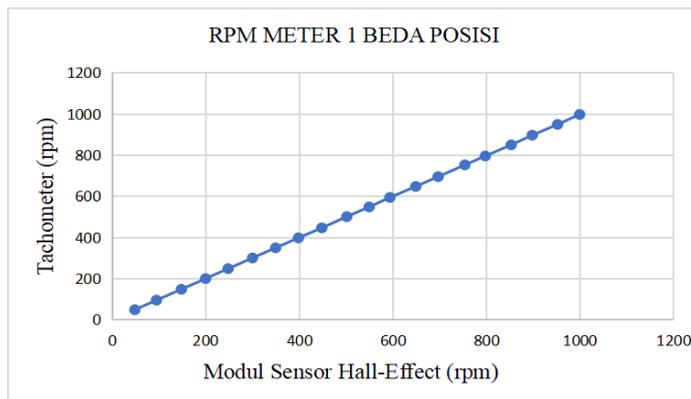
Gambar 15. Dari pengambilan data tersebut didapat nilai rata – rata *error* sebesar 0,24%.



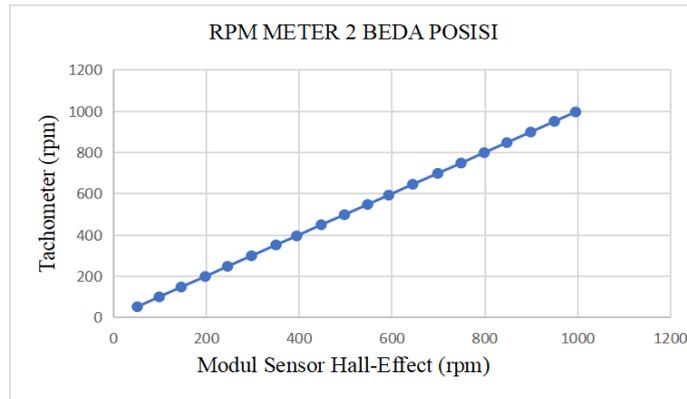
Gambar 14. Persamaan rpm meter 2 sebelum kalibrasi



Gambar 15. Persamaan rpm meter 2 setelah dikalibrasi



Gambar 16. Pengukuran rpm meter 1 beda posisi



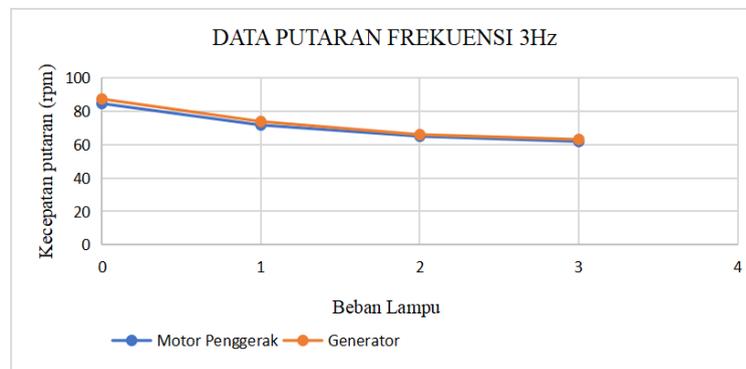
Gambar 17. Pengukuran rpm meter 2 beda posisi

3. Perhitungan RPM Meter 1 dan RPM Meter 2 dengan Beda Posisi

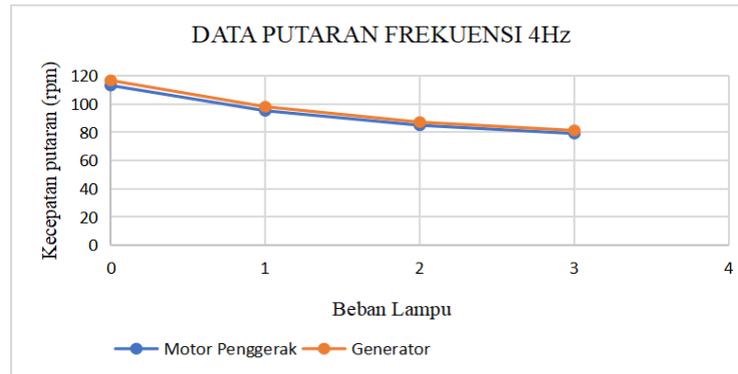
Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran untuk memastikan bahwa nilai pada RPM Meter 1 dan RPM Meter 2 sesuai dengan pembacaan *tachometer*. Berikut gambar posisi RPM Meter 1 dan RPM Meter 2 dapat dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17. Pengukuran RPM Meter 1 beda posisi ini memiliki rata – rata *error* 0,33%. Pengukuran RPM Meter 2 beda posisi ini memiliki rata – rata *error* 0,34%.

4. Perbandingan RPM Meter 1 dan RPM Meter 2

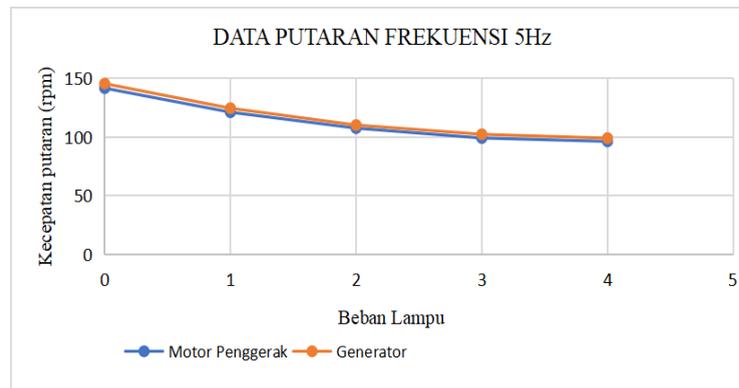
Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran putaran dengan variasi frekuensi masukan dan beban. Frekuensi masukan berupa 3, 4 dan 5. Lalu, untuk bebannya di buat dari tanpa beban sampai lampu mati disetiap frekuensinya. Berikut data putaran dengan variasi beban dapat dilihat pada Gambar 18, Gambar 19 dan Gambar 20.



Gambar 18. Data putaran dengan frekuensi 3Hz



Gambar 19. Data putaran dengan frekuensi 4Hz



Gambar 20. Data putaran dengan frekuensi 5Hz

(Analisis pengujian)

Presentase *error* pembacaan modul terhadap *tachometer* setelah kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 15. Pada Gambar 13 didapat data *error* antara RPM Meter 1 dan *tachometer* dimana nilai rata – rata *error* sebesar 0,24%. Pada Gambar 15 didapat data *error* antara RPM Meter 2 dan *tachometer* dimana nilai rata – rata *error* sebesar 0,24%.

Data kecepatan putaran dengan beban dapat dilihat pada Gambar 18, Gambar 19 dan Gambar 20. Pada keadaan ada beban lampu ataupun tanpa beban lampu, ada perbedaan RPM Meter 1 dan RPM Meter 2. Hal ini disebabkan karena perbedaan ukuran *pulley*. Berikut ukuran diameter *pulley* masing – masing yaitu sebagai berikut.

- Diameter luar *pulley* motor penggerak = 75 mm
- Diameter dalam *pulley* motor penggerak = 59 mm
- Diameter luar *pulley* generator = 75 mm
- Diameter dalam *pulley* generator = 53 mm

Menurut persamaan 3 didapat perbandingan kecepatan pada *pulley* adalah sebagai berikut:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{59}{53}$$

$$N_2 = 1.11N_1$$

Keterangan :

d_1 = Diameter pulley motor penggerak (mm)

d_2 = Diameter pulley generator (mm)

N_1 = RPM Meter 1 pada motor penggerak (rpm)

N_2 = RPM Meter 2 pada generator (rpm)

Dari persamaan diatas didapat bahwa RPM Meter 1 dan RPM Meter 2 tidak akan sama. RPM Meter 2 lebih besar 1,11 kali dari RPM Meter 1. Ketika pemakaian, besarnya tegangan *belt* pasti mengalami perubahan panjang antara sisi kendur dan sisi tegang. Untuk mengetahui ada *slip* kemuluran atau tidak antara RPM Meter 1 dan RPM Meter 2, perhitungan *slip* kemuluran dihitung dengan persamaan 5. Berikut salah satu perhitungan *slip* kemuluran yaitu sebagai berikut:

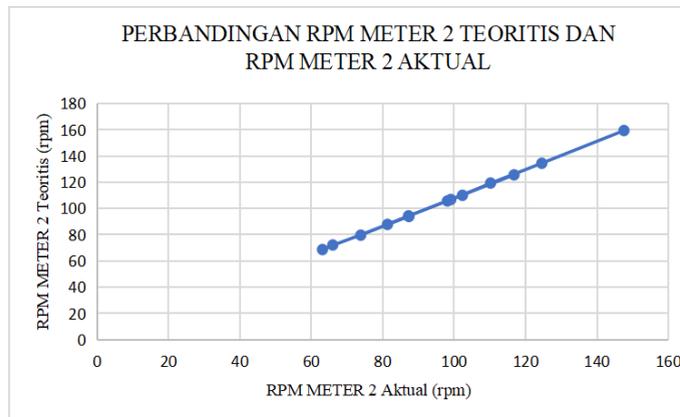
$$\%Slip = \frac{n_r - n_A}{n_r} \times 100\%$$

$$\%Slip = \frac{93.93 - 87.35}{93.93} \times 100\%$$

$$\%Slip = 7.005 \text{ dibulatkan menjadi}$$

$$\%Slip = 7.01$$

Kecepatan teoritis adalah hasil kecepatan dari perhitungan persamaan 3 sedangkan kecepatan aktual adalah hasil kecepatan dari modul. Berikut perbandingan data putaran dengan beban RPM Meter 2 dengan persamaan 3 dapat dilihat pada grafik dalam gambar 21. Dari data tersebut didapat rata – rata *slip* kemuluran sebesar 7,45%.



Gambar 21. Perbandingan rpm meter 2 teoritis dan rpm meter 2 aktual

(Tampilan Output)

Pada penelitian ini, ada beberapa tampilan output berupa tampilan LCD, tampilan SD-Card, tampilan RTC, tampilan GUI dan tampilan komunikasi.

1. Tampilan LCD

Pada penelitian ini ada beberapa tampilan pada LCD. Berikut tampilan pada LCD dapat dilihat pada Gambar 22, Gambar 23 dan Gambar 24. Gambar 25 merupakan tampilan salah satu data pada Gambar 20.



Gambar 22. Tampilan identitas



Gambar 23. Tampilan judul pengukuran



Gambar 24. Tampilan off



Gambar 25. Tampilan rpm

2. Tampilan SD-Card

Pada penelitian ini data hasil pengukuran kecepatan putaran akan disimpan didalam *SD-Card* dengan tipe data CSV. Berikut data hasil pengukuran putaran yang disimpan di *SD-Card* dapat dilihat pada Gambar 26. Gambar 26 merupakan tampilan salah satu data pada Gambar 20.

	A	B	C	D	E
12757	23/07/2022	17:17:47	141.63	145.52	
12758	23/07/2022	17:17:47	141.63	145.52	

Gambar 26. Tampilan data

3. Tampilan RTC

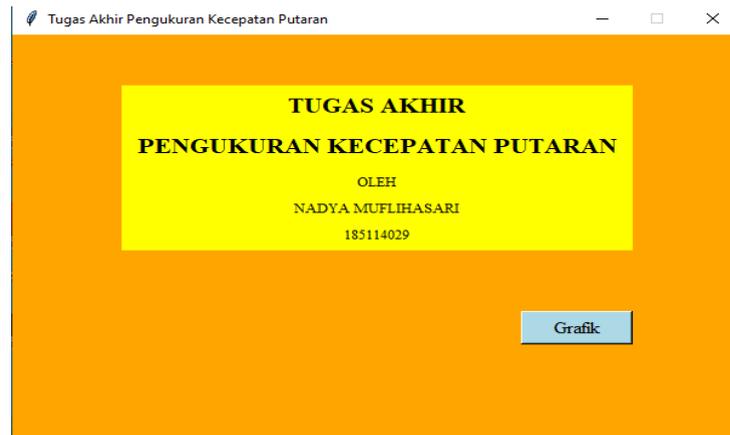
Pada penelitian ini, RTC digunakan sebagai pewaktuan yang datanya akan disimpan di *SD-Card*. Berikut tampilan RTC pada *SD-Card* dapat dilihat pada Gambar 27. Gambar 27 merupakan tampilan salah satu data pada Gambar 20.

	A	B	C	D	E
12757	23/07/2022	17:17:47	141.63	145.52	
12758	23/07/2022	17:17:47	141.63	145.52	

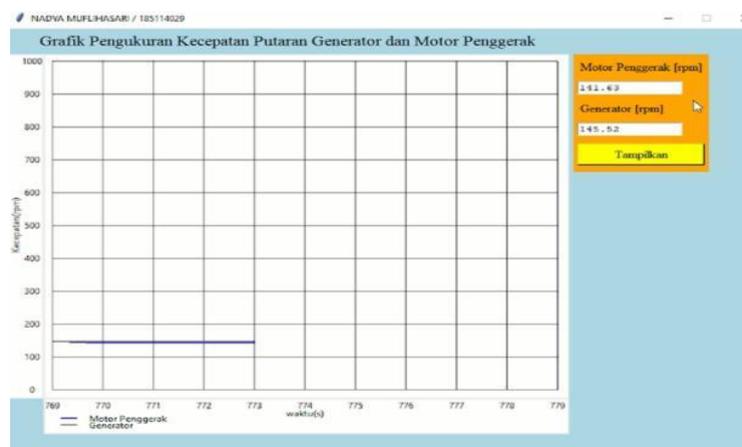
Gambar 27. Tampilan RTC

4. Tampilan GUI

Pada penelitian ini, GUI digunakan sebagai monitor data RPM Meter 1 dan RPM Meter 2. Berikut tampilan GUI dapat dilihat pada Gambar 28, dan Gambar 29. Gambar 28 merupakan tampilan awal ketika program python dijalankan. Pada bagian ini, program yang ditampilkan berupa judul tugas akhir, identitas peneliti dan tombol grafik. Ketika tombol grafik ditekan maka akan tampil program seperti Gambar 29. Lalu, ketika tombol tampilkan ditekan maka akan tampil hasil pengukuran kecepatan putaran motor penggerak dan generator dalam bentuk grafik dan hasil pengukuran berupa angka juga ditampilkan di samping grafik. Gambar 29 merupakan tampilan salah satu data pada Gambar 20. Pengukuran juga dilakukan dengan *tachometer* dan Arduino. Berikut tampilan data pada LCD dan *tachometer* dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 28. Tampilan identitas GUI



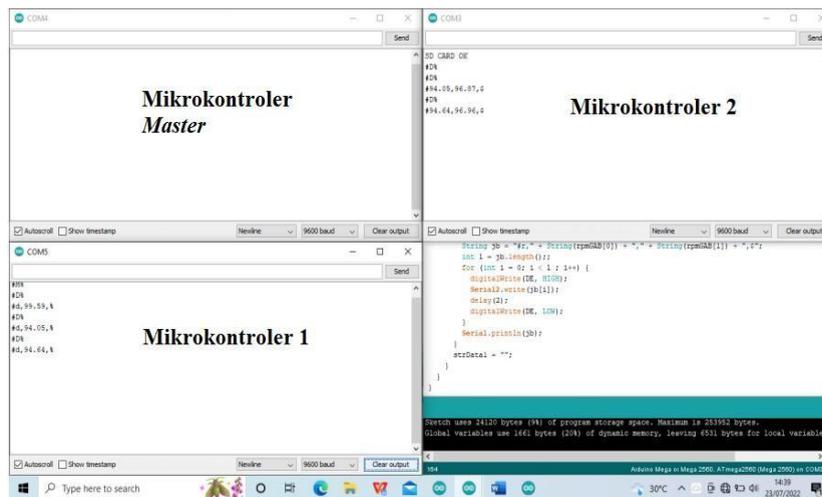
Gambar 29. Tampilan grafik GUI



Gambar 30. Tampilan LCD dan tachometer

5. Tampilan Komunikasi

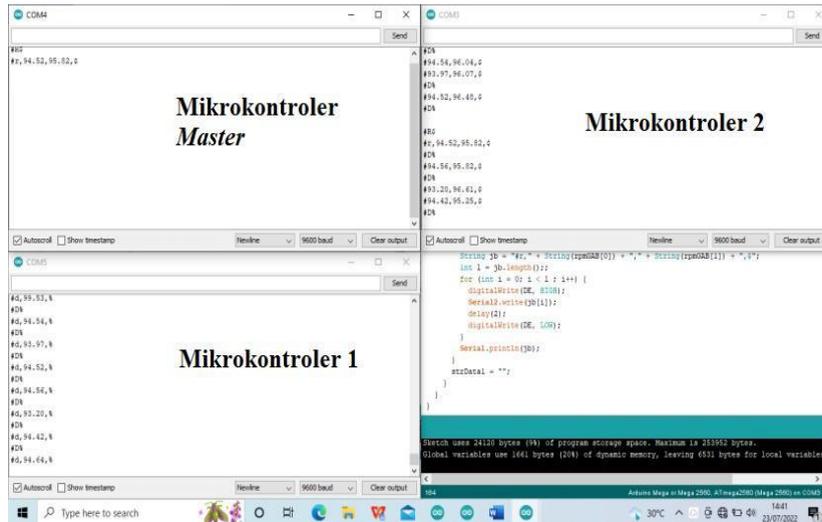
Pada penelitian ini, ada komunikasi antara Mikrokontroler 1, Mikrokontroler 2 dan Mikrokontroler master. Berikut bentuk komunikasi yang terjadi antara 3 mikrokontroler tersebut dapat dilihat pada Gambar 31, Gambar 32 dan Gambar 33. Gambar 31 menampilkan komunikasi Mikrokontroler 1 dan Mikrokontroler 2. Komunikasi ini dilakukan dengan komunikasi serial.



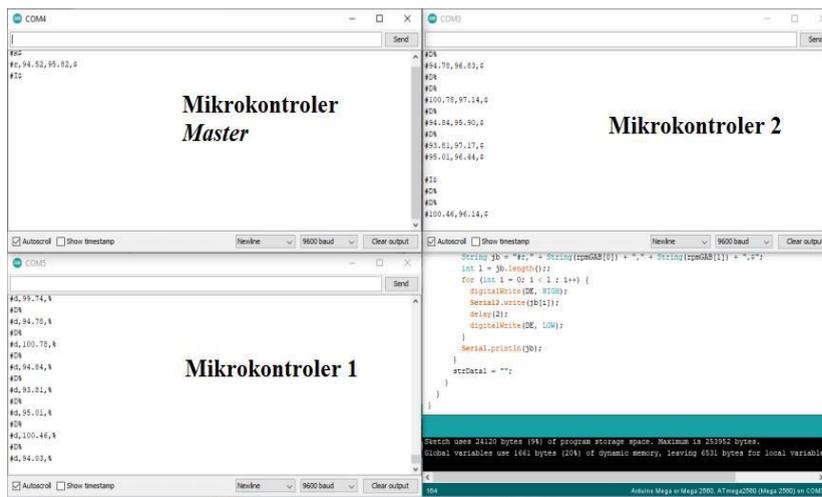
Gambar 31. Komunikasi data mikrokontroler 1 dan mikrokontroler 2

Pada Gambar 32, ditampilkan komunikasi Mikrokontroler *Master* dan Mikrokontroler 2. Komunikasi Mikrokontroler *Master* dan Mikrokontroler 2 menggunakan RS-485. Pada penelitian ini, Mikrokontroler *Master* berupa program *dummy*. Program ini akan meminta data dengan cara menuliskan kode pada serial monitor Arduino IDE. Kemudian Mikrokontroler 2 akan memberikan data RPM Meter 1 dan RPM Meter 2 jika kode yang ditulis berupa “#R\$”. Kode itu telah disepakati sebagai kode pemanggilan data putaran. Mikrokontroler 2 memberikan data dalam bentuk kode juga berupa “#r,”+String(rpmGAB[0])+,””+String(rpmGAB[1])+,”\$””. Pada program Mikrokontroler 2, rpmGAB[0] merupakan RPM Meter 1 dan rpmGAB[1] merupakan RPM Meter 2.

Mikrokontroler *Master* merupakan program yang bertugas mengumpulkan data semua pengukuran pada pengujian generator magnet permanen putaran rendah. Oleh karena itu, ada beberapa bentuk kode untuk meminta data. Beberapa kode tersebut yaitu “#R\$” untuk meminta data putaran, “#I\$” untuk meminta data daya input, “#O\$” untuk meminta data daya output dan “#S\$” untuk meminta data suhu. Pada Gambar 33, ditampilkan program ketika Mikrokontroler *Master* meminta data daya input dengan kode “#I\$”. Ketika Mikrokontroler *Master* meminta data selain data pengukuran putaran maka Mikrokontroler 2 hanya menerima permintaan itu tanpa memberikan data.



Gambar 32. Komunikasi mikrokontroler *master*



Gambar 33. Komunikasi mikrokontroler *master* mengambil data lain

Kesimpulan

Pengukuran kecepatan putaran motor penggerak dan generator pada generator magnet permanen putaran rendah didapat kesimpulan bahwa pengukuran putaran motor penggerak dibandingkan dengan alat terukur berupa *tachometer* memiliki nilai rata – rata *error* sebesar 0,24%. Selain itu, pengukuran putaran generator dibandingkan dengan alat terukur berupa *tachometer* memiliki nilai rata – rata *error* sebesar 0,24% serta sistem komunikasi antar mikrokontroler berhasil semua tetapi terkadang komunikasi *delay*.

Daftar Pustaka

- Allegro. (2002). Datasheet 3141 3144 THRU. Worcester, Massachusetts, USA: Allegro.
- Arduino. (2015). Datasheet Arduino Nano.
- Arduino. (2019a). Library SPI. Retrieved Januari 12, 2022, from <https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>.
- Arduino. (2019b). Serial. Retrieved Januari 12, 2022, from <https://www.arduino-cc>.
- Atmel. (2005). Datasheet ATmega 2560. San Jose, USA: Atmel.
- Atmel. (2009). Datasheet ATmega48PA/88PA/168PA/328P. San Jose, USA: Atmel.
- Enny, E. (2018). Tachometer Laser, Pemakaian Dan Perawatannya. *METANA*, 13(1), 7-12. Retrieved Maret 18, 2021, from <https://doi.org/10.14710/metana.v13i1.12578>.
- Evalina, N., H, Abdul.A., & Zulfikar (2018). *Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller*. JET (Journal of Electrical Technology).
- Honeywell Inc. (n.d). *Micro Switch Sensing and Control, Hall Effect Sensing And Application*. Illinois. Retrieved April 15, 2022, from www.honeywell.com/sensing.
- Idayanti, N., Dedi, D., Sudrajat, N., Suyatman, S., Hilda, N., & Hawa, A. (2016). Perancangan Instrumen Ukur Torsi Dan Kecepatan Pada Motor DC Dengan Prinsip Nonkontak Berdasarkan Deteksi Medan Magnet. Retrieved August 29, 2021, from <http://dx.doi.org/10.14203/instrumentasi.v40i2.141>.
- Marappung, M. (1979). *Teori Soal Penyelesaian Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: Armico.
- Maxim Integrated. (2014). Datasheet MAX481/MAX483/MAX485/MAX487-MAX491/MAX1487 Low- Power, Slew-Rate, Limited RS-485/RS-422 Transceivers. San Jose, USA: Maxim Integrated.
- Maxim Integrated. (2015). Datasheet DS1302. Sunnyvale: Maxim Integrated.
- Kilian. 2000. *Modern Control Tecnology: Components And Systems*. New York.
- Mott, R.L. (2009). *Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis*. Yogyakarta: ANDI.
- Muhlisin, F. (2017). *Rekondisi Turbin Generator Pada Mini Plant Boiler Dengan Menggunakan Turbin Generator Ampere Model JFZ168*. Fakultas Vokasi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nasution, A. C., Sudaryanto, S., & Arifin J. (2018). *Rancang Bangun Alat Pendeteksi Gempa Bumi dengan Ayunan Bandul Berbasis Mikrokontroler ATmega328*. JET (Journal of Electrical Technology).
- OPTO22. (2013). *RPM Measurement Techniques*. Temecula.
- Prasetijo, H., Ropiudin, & Dharmawan, B. (2012). Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah. *Dinamika Rekayasa*.
- Siburian, J. D. (2019). *Analisa Slip Transmisi Pulley dan V-Belt Pada Beban Tertentu dengan Menggunakan Motor Berdaya Seperempat HP*. Fakultas Teknik. Riau: Universitas Islam Riau.
- Soares, N. N. V. D. F. (2017). *Modul Komunikasi Serial Pada Model Simulator Boiler Berbasis Mikrokontroler ATmega16*. Fakultas Sains dan Teknologi. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.

- Sularso & Suga, K. (2004). *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Syahrudin, A. N. & Kurniawan, T.(2018). *Input dan Output Pada Bahasa Pemrograman Python*. Jurnal Dasar Pemrograman Python STMIK.