

RANCANG BANGUN MONITORING MOTOR BRUSHLESS DC BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) DENGAN KONTROL FUZZY LOGIC

Yasser Akbar Nasution

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : yassernasution@mhs.unesa.ac.id

Subuh Isnur Haryudo

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : subuhisnurharyudo@unesa.ac.id

Abstrak

Motor *brushless* DC merupakan salah satu beban yang digunakan dalam bidang industri. Perlu adanya sistem *monitoring* kecepatan putaran, arus lebih, dan suhu pada motor listrik yang digunakan untuk memberitahukan informasi kepada operator sebagai bahan analisis untuk perawatan dan pengamanan motor listrik. Dengan perkembangan teknologi maka sistem *monitoring* dikembangkan dengan *internet of things*. Dan dalam pengoperasian motor *brushless* DC, kecepatan putaran motor tidak konstan. Kecepatan motor jauh berkurang karena adanya beban yang harus dipikul oleh motor. Oleh karena itu dirancang pula alat untuk *monitoring* dengan *internet of things* dan kontrol motor agar kecepatan putar dapat stabil. Hasil kinerja sistem monitoring kecepatan putar, arus, dan suhu motor DC tanpa kontrol fuzzy memiliki nilai error yang besar dan kecepatan motor cenderung tidak stabil karena jauh dari nilai setpoint yang ditentukan, dari data hasil penelitian yang dibuat memiliki tingkat keakuratan yang kurang baik. Dari hasil penelitian pengujian kinerja monitoring kecepatan putar, arus, dan suhu motor DC tanpa kontrol fuzzy memiliki nilai error yang kecil dan cukup akurat. Respon relay dari pembacaan arus berjalan dengan fungsinya. Maka rancang bangun monitoring motor brushless DC berbasis internet of things dengan kontrol fuzzy yang paling baik adalah dengan menggunakan kontrol fuzzy logic karena memiliki error lebih kecil dari tanpa menggunakan kontrol fuzzy logic.

Kata Kunci: monitoring motor brushless DC, control fuzzy, internet of things, kontrol motor, nodemcu esp8266.

Abstract

DC brushless motor is one of the loads used in the industrial field. There is a need for a monitoring system of rotation speed, overcurrent, and temperature on the electric motor that is used to inform the operator as material for analysis for maintenance and safety of the electric motor. With the development of technology, the monitoring system was developed with the internet of things. And in the operation of a brushless DC motor, the rotation speed of the motor is not constant. The speed of the motor is much reduced because of the load that must be borne by the motor. Therefore also designed a tool for monitoring with the internet of things and motor control so that the rotating speed can be stable. The results of the performance of the monitoring system of rotational speed, current, and temperature of DC motors without fuzzy control have a large error value and the motor speed tends to be unstable because it is far from the specified setpoint value, from the results of research that is made has a level of accuracy that is not good. From the research results testing the performance of monitoring the rotary speed, current, and temperature of a DC motor without fuzzy control has a small error value and is quite accurate. Relay response from the current reading with its function. So the design of monitoring brushless DC motor based on the internet of things with the best fuzzy control is to use fuzzy logic control because it has a smaller error than without using fuzzy logic control.

Keywords: Monitoring Motor Brushless DC, Control Fuzzy, Internet of Things, Control Motor, Nodemcu Esp8266.

PENDAHULUAN

Dewasa ini teknologi informasi dan komunikasi sudah semakin berkembang. Teknologi informasi dan komunikasi terkini adalah Internet of Things (IoT). Motor brushless DC merupakan salah satu beban yang

digunakan dalam bidang industri. Sistem kendali motor brushless DC di industri menggunakan kabel sebagai media pengiriman hasil monitoring kecepatan putar, arus, dan suhu. Perlu adanya sistem monitoring kecepatan putaran, arus lebih, dan suhu pada motor listrik yang digunakan untuk memberitahukan informasi kepada

operator sebagai bahan analisis untuk perawatan dan pengamanan motor listrik. Dan dalam pengoperasian motor brushless DC, kecepatan putaran motor tidak konstan. Kecepatan maksimum motor terjadi ketika motor tidak dibebani. Kecepatan motor jauh berkurang karena adanya beban yang harus dipikul oleh motor. Oleh karena itu dirancang pula alat untuk monitoring secara nirkabel dan kontrol motor agar kecepatan putar dapat stabil.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bangun sistem monitoring motor DC yang akan ditampilkan aplikasi ponsel pintar berbasis Internet of Things (IOT) dari jarak jauh dan realtime sebagai hasil pembacaan yang akan dijadikan input untuk relay sebagai pengaman motor brushless DC apabila bila nilai arus melebihi batas nilai yang sudah ditentukan diprogram arduino uno. Dan kecepatan motor dikontrol dengan metode fuzzy agar kecepatannya lebih stabil dan memiliki nilai error yang rendah.

KAJIAN TEORI

Motor Brushless DC

Motor Brushless DC adalah salah satu jenis motor sinkron magnet permanen yang disuplai oleh sumber listrik DC pada kontrolnya, dan membutuhkan sumber listrik AC tiga fasa untuk menggerakkan bagian rotor motornya. Sumber listrik AC tiga fasa dibutuhkan karena motor sinkron magnet permanen ini memiliki 3 buah koil pada stator, kemudian hubungan antara koil dan belitan stator trapezoidal akan memberikan electro motive back trapezoidal (gaya gerak listrik balik trapezoidal) yaitu tegangan balik yang dihasilkan oleh belitan motor brushless DC yang akan menggerakkan rotor. Pergerakan pada rotor ini disebabkan oleh medan magnet pada stator yang pada setiap saatnya hanya dua fasa yang tersuplai sementara satu fasa lainnya tak tersuplai. Fenomena ini mengakibatkan motor ini seperti motor DC, karena arus yang mengalir pada kumparan stator mirip dengan motor DC meskipun motor ini sebenarnya dialiri dengan arus tiga fasa (Ridhwan,2012). Gambar motor *brushless* DC dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 motor *brushless* DC

NodeEmcu

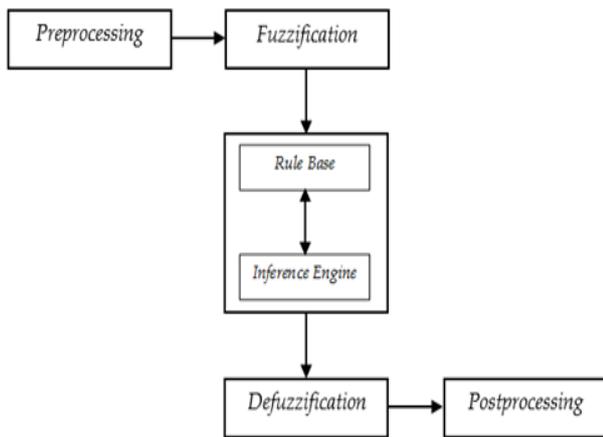
NodeMCU merupakan sebuah *open source platform* IoT dan pengembangan kit yang menggunakan bahasa pemrograman Lua untuk membantu dalam membuat *prototype* produk IoT atau bisa dengan memakai sketch dengan arduino IDE. Pengembangan kit ini didasarkan pada modul ESP8266, yang mengintegrasikan GPIO, PWM (*Pulse Width Modulation*), IIC, 1-Wire dan ADC (*Analog to Digital Converter*) semua dalam satu *board*. (Samsugi ,2018)

IDE Arduino

Arduino IDE adalah sebuah sistem operasi yang digunakan secara khusus untuk perancangan program Arduino, meskipun sebenarnya Arduino bisa digunakan di sistem operasi yang lain. Langkah awal penggunaan Arduino IDE adalah dengan melakukan instalasi terlebih dahulu. Untuk menjalankan software IDE ini, layaknya menjalankan sebuah aplikasi pada umumnya. Seperti halnya bahwa kelebihan Arduino adalah pada penggunaan software Arduino IDE yang mudah karena kesederhanaannya. Program di software Arduino IDE sering disebut sebagai sketch. (Wardana, 2015)

Kontrol Fuzzy

Dasar pemikiran dari fuzzy adalah berdasarkan pada tiruan pendapat dan persepsi dari manusia untuk mengendalikan sistem. Manusia mengambil keputusan berdasarkan hal-hal yang bersifat alamiah seperti sangat rendah – rendah – normal – tinggi - sangat tinggi. Sistem pengendali fuzzy menggunakan sistem matematis untuk menganalisis nilai masukan analog variabel logika yang mengambil nilai secara kontinu antara 0 dan 1. Berbeda dengan pengendali klasik maupun logika digital yang beroperasi pada nilai-nilai diskrit benar atau salah. Kelebihan dari pengendali fuzzy logic jika dibandingkan dengan pengendali klasik adalah pengendalian yang sederhana, biaya rendah, dan memungkinkan untuk merancang tanpa mengetahui terlebih dahulu model matematika dari proses. Logika fuzzy memiliki himpunan fuzzy yang pada dasarnya teori himpunan fuzzy merupakan perluasan dari teori himpunan klasik. Logika fuzzy merupakan teori himpunan logika yang dikembangkan untuk mengatasi konsep nilai yang terdapat di antara kebenaran dan kesalahan. Dengan menggunakan fuzzy logic, nilai yang dihasilkan bukan hanya YA (1) dan TIDAK (0), melainkan seluruh kemungkinan di antara 0 dan 1. (Kusumadewi dan Purnomo, 2010). Diagram blok pengendali fuzzy dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2 Diagram Blok Pengendali Fuzzy

Internet of Things

Internet Of Things membuat kita membuat suatu koneksi antara mesin dengan mesin, sehingga mesin-mesin tersebut dapat berinteraksi dan bekerja secara independen sesuai dengan data yang diperoleh dan diolahnya secara mandiri. Tujuannya adalah untuk membuat manusia berinteraksi dengan benda dengan lebih mudah, bahkan supaya benda juga bisa berkomunikasi dengan benda lainnya. Teknologi *internet of things* sangat luar biasa. Jika sudah direalisasikan, teknologi ini tentu akan sangat memudahkan pekerjaan manusia. Manusia tidak akan perlu lagi mengatur mesin saat menggunakannya, tetapi mesin tersebut akan dapat mengatur dirinya sendiri dan berinteraksi dengan mesin lain yang dapat berkolaborasi dengannya .

Blynk

Blynk merupakan Platform dengan aplikasi iOS dan android untuk mengontrol Arduino, Raspberry Pi dan sejenisnya melalui internet. Ini merupakan dashboard digital yang dapat membuat grafik interface untuk proyek dengan hanya drag dan drop widget. Blynk sangat mudah dan sederhana, membuat alat siap terhubung untuk Internet Of Things.

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Pendekatan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dikarenakan penelitian ini disajikan dengan angka-angka. Mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan hasilnya nanti. Jenis pendekatan kuantitatif yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen adalah suatu penelitian yang menuntut peneliti memanipulasi satu atau lebih variable bebas serta

mengamati variabel terikat untuk melihat perbedaan sesuai variabel bebas tersebut.

Pengumpulan bahan tentang suhu maksimal dari motor brushless DC, dan arus maksimal dari motor brushless DC dari datasheet. Adapun detail spesifikasi dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Spesifikasi motor brushless DC

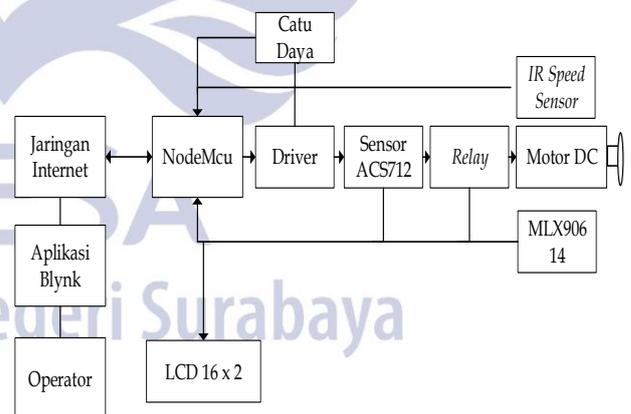
Spesifikasi dari motor yang digunakan dalam rancang bangun ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi motor brushless DC:

Nama	Keterangan
Tipe Motor	A2212/13t 1000rpm/V
Max Efficiency	80%
Max Efficiency Current	4-10a (>75%)
No Load Current	0.5a @10v
Resistance	0.09 Ohm
Max Current	13a For 60s
Max Watt	150w
Weight	52.7g
Ukuran	28 Mm Dia X 28mm Bell Lenngth
Shaft Diameter	3.2 Mm
Poles	14
Max Temperature	80°C

Desain Sistem

Desain sistem perancangan monitoring kecepatan putar, arus, dan suhu motor listrik DC berbasis Internet Of Things dengan kontrol fuzzy logic sebagai pengaman motor listrik ditunjukkan pada Gambar 3.

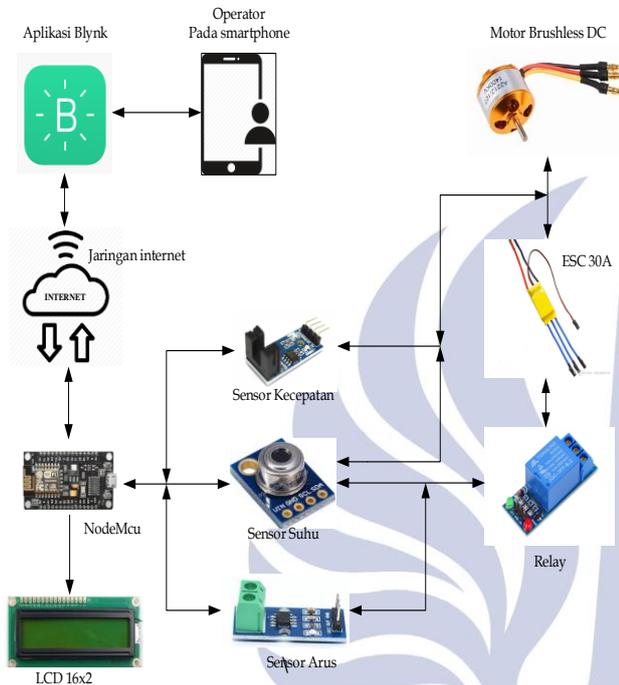


Gambar 3 Desain Sistem Perancangan Monitoring Kecepatan Putar, Arus, dan Suhu Motor brushless DC

Desain Hardware

Desain hardware pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4 . Desain hardware yang dimaksud adalah pemasangan kabel dan hubungan antar komponen. Semua komponen yang digunakan dapat terhubung dan dapat beroperasi sesuai dengan desain system yang telah

dibuat. Desain monitoring nantinya terdiri dari tiga bagian yaitu nilai arus, kecepatan putar (RPM), dan suhu. Nilai arus untuk menampilkan besaran arus yang mengalir pada motor dc. Kecepatan putar menampilkan nilai pembacaan kecepatan putar berupa angka dalam satuan RPM. Nilai arus untuk menampilkan nilai pembacaan arus berupa angka dalam satuan mA. Suhu untuk menampilkan nilai pembacaan suhu berupa angka dalam satuan *C.

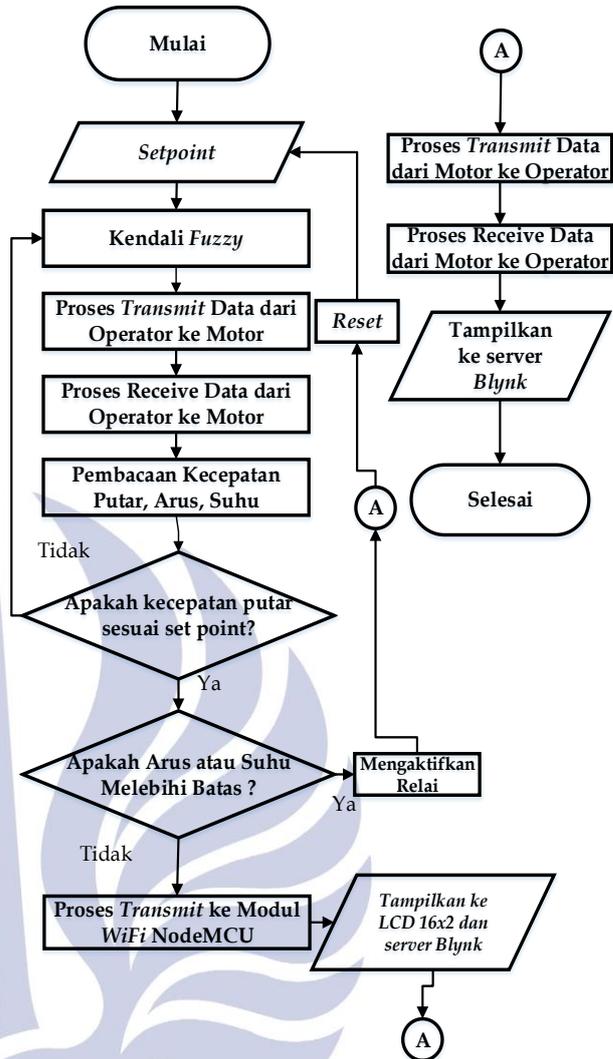


Gambar 4 Desain Wiring Hardware Sistem Monitoring Dan Kontrol Motor Brushless DC

Perancangan Software

. Software yang digunakan pada penelitian ini adalah IDE Arduino dan Blynk. IDE Arduino berfungsi sebagai software pemrograman. Blynk berfungsi sebagai pengolah data dan untuk menampilkan secara angka hasil pembacaan dari sensor-sensor.

Berdasarkan Gambar 5 secara umum dapat dijelaskan bahwa nilai setpoint ditentukan oleh penulis dengan rentang 0 – 255 duty cycle yang sudah dikendalikan dengan logika fuzzy. Sinyal perintah fuzzy yang dikirimkan diterima dan digunakan untuk menjalankan motor DC. Kecepatan putar yang dibaca oleh IR speed sensor dikirimkan ke mikrokontroler dan dikonversikan ke dalam bentuk kecepatan RPM dan ditampilkan ke LCD 16 x 2. Diagram alir program dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5 Diagram Alir Program System Monitoring Dan Kontrol Motor Brushless DC

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perancangan sistem yang telah dibahas pada bab III, langkah selanjutnya adalah pengujian dan analisis data hasil penelitian. Pada skripsi ini alat yang dirancang adalah rancang bangun sistem monitoring kelistrikan industri untuk memonitor kecepatan putar, arus lebih, dan suhu motor Brushless DC berbasis Internet Of Things dengan kontrol fuzzy logic. Pengujian dan analisis penelitian meliputi ; 1) Pengujian setiap blok , 2) Pengujian seluruh sistem dengan nilai setpoint tertentu, 3) Hasil pengujian seluruh sistem.

Bentuk *real* sistem monitoring motor *brushless* DC berbasis dengan menyesuaikan Desain sistem pada gambar 4 sebelumnya seperti tampak pada Gambar 6 dibawah ini



Gambar 6 desain real system

Pengujian Keseluruhan Sistem

Dari seluruh pengujian blok sistem yang sudah dijalankan ini merupakan rangkaian keseluruhan saat sistem dijalankan bertujuan untuk mengetahui akurasi sistem untuk memonitor kecepatan putar, arus, dan suhu motor DC serta melakukan pembatasan arus dan suhu kemudian hasil ditampilkan ke LCD 16x2 dan dikirimkan ke bagian operator untuk ditampilkan di aplikasi blynk pada ponsel. Berikut adalah hasil pengujian akurasi sistem yang dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Hasil Pengujian Akurasi Sistem Keseluruhan

Duty cycle (%)	Hasil Pembacaan Monitoring			Hasil Pembacaan Alat ukur		
	Kecepatan Putar (RPM)	Arus (A)	Suhu (°C)	Kecepatan Putar (RPM)	Arus (A)	Suhu (°C)
20	3842	0.20	28	3910	0.19	28
40	4830	0.19	30	5029	0.21	31
60	5724	0.26	32	5827	0.25	31
80	6612	0.31	32	6710	0.29	32
100	7372	0.35	34	7485	0.32	33

Dari Tabel 2 diatas hasil pembacaan alat ukur didapat menggunakan tachometer untuk mengukur kecepatan putar, amperemeter untuk mengukur arus, dan termokopel untuk mengukur suhu. Pengujian diatas menggunakan nilai duty cycle yang bervariasi dari 20-100%. Terdapat selisih perbedaan antara pembacaan anantara hasil pembacaan monitoring dan juga hasil pembacaan alat ukur, analisa error pembacaan monitoring akan diulas pada pembahasan berikutnya.

Analisis Akurasi Sistem

Hasil pembacaan sistem berbeda dengan hasil pembacaan alat ukur terstandarisasi. Dari hasil pengujian tersebut dapat dihitung nilai error untuk menganalisis keakurasian dari sistem. Nilai error dapat dihitung menggunakan rumus (1) berikut:

$$\%Error = \left| \frac{[(\text{Nilai sebenarnya}) - (\text{Nilai terbaca})]}{\text{Nilai sebenarnya}} \right| \times 100 \quad (1)$$

Keterangan:

Nilai sebenarnya : Hasil pembacaan alat ukur terstandarisasi

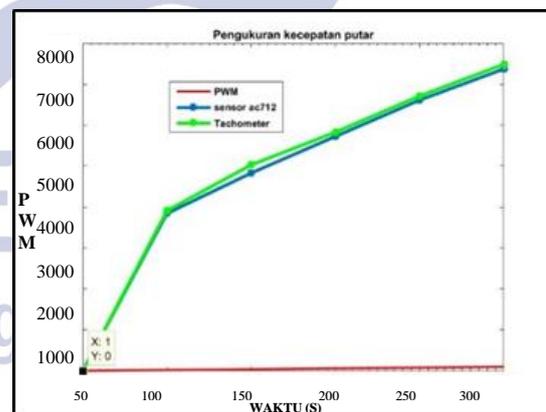
Nilai terbaca : Hasil pembacaan sensor

Dari hasil perhitungan error pembacaan kecepatan putar motor DC menggunakan sistem dan alat ukur dengan duty cycle bervariasi mendapatkan hasil rata-rata error sebesar 2.05% semua hasil perhitungan error pembacaan kecepatan putar dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Error Kecepatan Putar

Duty cycle (%)	Hasil Pembacaan Monitoring	Hasil Pembacaan Alat Ukur	Error (%)
	Kecepatan Putar (RPM)	Tachometer (RPM)	
20	3842	3910	1,73
40	4830	5029	3,9
60	5724	5827	1,76
80	6612	6710	1,46
100	7372	7485	1,50
	Rata-rata		2,05

Grafik kenaikan nilai duty cycle dengan kecepatan putar terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



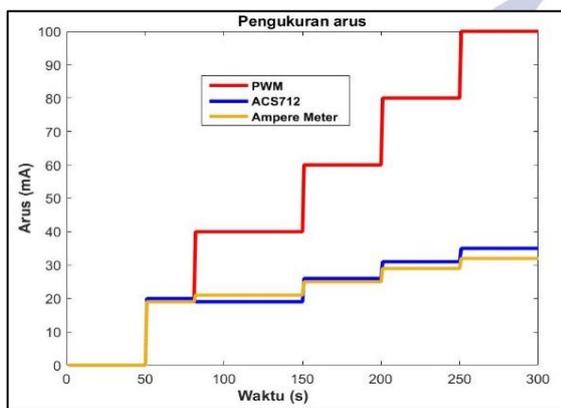
Gambar 7 Grafik Pengukuran Kecepatan Putar dan Duty cycle terhadap Waktu

Dari hasil perhitungan error pembacaan arus motor DC menggunakan sistem dan alat ukur dengan duty cycle bervariasi mendapatkan hasil rata-rata error sebesar 9,66%, semua hasil perhitungan error pembacaan kecepatan putar dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Error Arus

Duty cycle (%)	Hasil Pembacaan Monitoring	Hasil Pembacaan Alat Ukur	Error (%)
	Kecepatan Putar (RPM)	Tachometer (RPM)	
20	3842	3910	1,73
40	4830	5029	3,9
60	5724	5827	1,76
80	6612	6710	1,46
100	7372	7485	1,50
	Rata-rata		2,05

Grafik kenaikan nilai duty cycle dengan arus terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



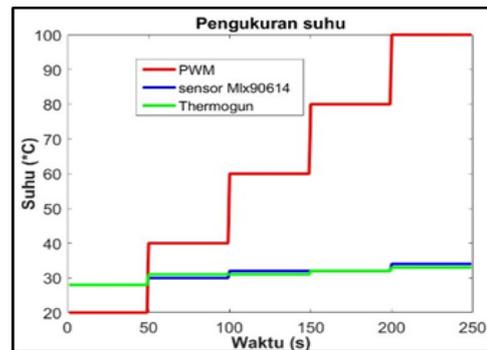
Gambar 8 Grafik Pengukuran Arus dan Duty cycle terhadap Waktu

Dari hasil perhitungan error pembacaan suhu motor DC menggunakan sistem dan alat ukur dengan duty cycle bervariasi mendapatkan hasil rata-rata error sebesar 1.54%, semua hasil perhitungan error pembacaan kecepatan putar dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Error Suhu

Duty cycle (%)	Hasil Pembacaan Monitoring	Hasil Pembacaan Alat Ukur	Error (%)
	Suhu (°C)	Termokopel (°C)	
20	28	28	0
40	30	31	3,22
60	32	31	3,22
80	32	32	0
100	34	33	3,03
	Rata-rata		1,54

Grafik kenaikan nilai duty cycle dengan suhu terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 9



Gambar 9 Grafik Pengukuran Suhu dan Duty cycle terhadap Waktu

Analisa Kerja Sistem Tanpa Controller Fuzzy

Pengujian pada plant motor brushless DC dilakukan tanpa controller fuzzy. Motor diuji dengan nilai setpoint yang bervariasi yaitu 11000, 11500 dan 12000. Pembacaan kecepatan putar, arus dan suhu kan dilakukan oleh sensor-sensor yang sudah dibahas sebelumnya dan diukur menggunakan alat ukur yang sudah terstandarisasi sebagai pembanding dan mengukur tingkat akurasi dari pembacaan sensor-sensor dengan menghitung nilai error.

Tanpa controller nilai kecepatan putar pada motor DC dengan nilai set point 11000 memiliki error pembacaan 2,06% sedangkan error terhadap setpoint 9,9%, dengan set point 11500 memiliki error pembacaan 0,55% sedangkan error terhadap setpoint 6,68%, lalu dengan set point 12000 memiliki error pembacaan 0,78% sedangkan error terhadap setpoint 3,07%. Semakin tinggi nilai setpoint maka akan terus meningkat nilai kecepatan putarnya. Hasil kecepatan putar dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6 Hasil Pembacaan Kecepatan Putar tanpa Controller Fuzzy

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Monitoring Kecepatan Putar (RPM)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Tachometer (RPM)	Error Pembacaan Monitoring (%)	Error terhadap set point
11000	12089	12344	2,06	9,9
11500	12289	12358	0,55	6,86
12000	12369	12467	0,78	3,07

Nilai arus pada motor brushless DC dengan setpoint 11000 memiliki nilai error pembacaan 3,57%, dengan setpoint 11500 memiliki nilai error pembacaan 1,75%, dengan setpoint 12000 memiliki nilai error pembacaan 1,72%. Bahwasannya semakin besar nilai setpoint dengan kondisi tanpa beban dengan tanpa controller fuzzy maka akan semakin besar nilai arus. Hasil pembacaan arus

tanpa controller fuzzy dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7 Hasil Pembacaan Arus tanpa *Controller Fuzzy*

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Monitoring Arus (A)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Amperemeter (A)	Error (%)
11000	0,54	0,56	3,57
11500	0,56	0,57	1,75
12000	0,57	0,58	1,72

Nilai suhu pada motor brushless DC dengan setpoint 11000 memiliki nilai error pembacaan 3,2%, dengan setpoint 11500 memiliki nilai error pembacaan 3,1%, dengan setpoint 12000 memiliki nilai error pembacaan 0%. Hasil pembacaan suhu tanpa controller fuzzy dapat dilihat pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8 Hasil Pembacaan Suhu Tanpa *Controller Fuzzy*

Setpoint	Hasil Pembacaan Monitoring Suhu (°C)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Termogun (°C)	Error (%)
11000	30	31	3,2
11500	31	32	3,1
12000	33	33	0

Analisa Kerja Sistem Dengan Controller Fuzzy

Pengujian pada plant motor brushless DC dilakukan dengan controller fuzzy. Motor diuji dengan nilai setpoint yang bervariasi yaitu 11000, 11500 dan 12000, dengan kondisi tanpa beban, dengan beban 100gr dan dengan beban 160gr. Pembacaan kecepatan putar, arus dan suhu dilakukan oleh sensor-sensor yang sudah dibahas sebelumnya dan diukur menggunakan alat ukur yang sudah terstandarisasi sebagai pembanding dan mengukur tingkat akurasi dari pembacaan sensor-sensor dan menghitung error nilai kecepatan putar pada sensor terhadap nilai setpoint dengan menghitung nilai error.

Analisa Kerja Sistem Dengan Controller Fuzzy Tanpa Beban

Tabel 9 Hasil Pembacaan Kecepatan Putar Tanpa Beban

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Monitoring Kecepatan Putar (RPM)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Tachometer (RPM)	Error Pembacaan Monitoring (%)	Error terhadap set point (%)
11000	11000	11270	2,39	0
11500	11470	11550	0,69	0,26
12000	12050	12157	0,88	0,16

Dari hasil pembacaan kecepatan putar tanpa beban pada Tabel 9 maka tanpa adanya beban yang digunakan nilai kecepatan putar pada motor brushless DC dengan nilai set point 11000 memiliki error pembacaan 2,39%

sedangkan error terhadap setpoint 0%, dengan set point 11500 memiliki error pembacaan 0,69% sedangkan error terhadap setpoint 0,26%, lalu dengan set point 12000 memiliki error pembacaan 0,88% sedangkan error terhadap setpoint 0,16%. Kecepatan putar motor akan semakin tinggi dengan semakin naiknya nilai setpoint.

Nilai arus pada motor brushless DC dengan setpoint 11000 memiliki nilai error pembacaan 1,88%, dengan setpoint 11500 memiliki nilai error pembacaan 1,81%, dengan setpoint 12000 memiliki nilai error pembacaan 1,75%. Bahwasannya tanpa adanya beban mekanik digunakan nilai arus pada motor brushless DC nilai setpoint yang semakin besar nilai arus akan semakin besar. Hasil pembacaan arus dengan dengan controller fuzzy tanpa beban dapat dilihat pada Tabel 10 dibawah ini.

Tabel 10 Hasil Pembacaan Arus tanpa beban

Setpoint	Hasil Pembacaan Sensor Arus (A)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Amperemeter (A)	Error (%)
11000	0,52	0,53	1,88
11500	0,54	0,55	1,81
12000	0,56	0,57	1,75

Nilai suhu pada motor brushless DC dengan setpoint 11000 memiliki nilai error pembacaan 0%, dengan setpoint 11500 memiliki nilai error pembacaan 0%, dengan setpoint 12000 memiliki nilai error pembacaan 0%. Tanpa beban mekanik nilai suhu pada motor DC dengan setpoint yang semakin meningkat maka nilai suhu akan mengalami peningkatan. Hasil pembacaan suhu dengan dengan controller fuzzy tanpa beban dapat dilihat pada Tabel 11 dibawah ini.

Tabel 11 Hasil Pembacaan Suhu dengan controller fuzzy tanpa beban

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Sensor Suhu (°C)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Thermogun (°C)	Error (%)
3500	31	31	0
4000	32	32	0
4500	33	33	0

Analisa Kerja Sistem Dengan Controller Fuzzy Dengan Beban Mekanik 100gr

Dengan menggunakan beban mekanik 100 gram yang digunakan nilai kecepatan putar pada motor brushless DC dengan nilai set point 11000 memiliki error pembacaan 2,46% sedangkan error terhadap setpoint 1,1%, dengan set point 11500 memiliki error pembacaan 0,55% sedangkan error terhadap setpoint 1,05%, lalu dengan set point 12000 memiliki error pembacaan 1,31% sedangkan

error terhadap setpoint 0,1%. Kecepatan putar motor akan semakin tinggi dengan semakin naiknya nilai setpoint. Hasil pembacaan kecepatan putar dengan Controller Fuzzy dengan beban 100 gram dapat dilihat pada tabel 12

Tabel 12 Hasil Pembacaan Kecepatan Putar Dengan beban mekanik 100gr

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Monitoring Kecepatan Putar (RPM)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Tachometer (RPM)	Error Pembacaan Monitoring (%)	Error terhadap set point (%)
11000	10879	11154	2,46	1,1
11500	11379	11443	0,55	1,05
12000	11987	12147	1,31	0,10

dibawah ini.

Dengan beban 100 gram yang digunakan nilai arus pada motor brushless DC dengan setpoint 11000 memiliki nilai error pembacaan sebesar 2,38%, dengan setpoint 11500 memiliki nilai error pembacaan sebesar 1,17%, dengan setpoint 12000 memiliki nilai error pembacaan sebesar 1,16%. Pada motor brushless DC dengan setpoint yang semakin besar maka nilai arus akan semakin besar. Jika beban yang digunakan lebih ringan maka arus akan semakin kecil juga. Hasil pembacaan arus dengan Controller Fuzzy dengan beban 100 gram dapat dilihat pada Tabel 13 dibawah ini.

Tabel 13 Hasil Pembacaan Arus Dengan beban mekanik 100gr

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Monitoring Arus (A)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Amperemeter (A)	Error (%)
11000	0,82	0,84	2,38
11500	0,84	0,85	1,17
12000	0,85	0,86	1,16

Dengan beban 100 gram nilai suhu pada motor brushless DC dengan setpoint 11000 memiliki nilai error pembacaan 0%, dengan setpoint 11500 memiliki nilai error pembacaan 0%, dengan setpoint 12000 memiliki nilai error pembacaan 2,85%. Nilai suhu pada motor DC dengan setpoint yang semakin meningkat maka suhu akan mengalami peningkatan. Hasil pembacaan suhu dengan Controller Fuzzy dengan beban 100 gram dapat dilihat pada Tabel 14 dibawah ini.

Tabel 14 Hasil Pembacaan Suhu Dengan beban mekanik 100gr

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Monitoring Suhu (°C)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Thermogun (°C)	Error (%)
11000	32	32	0
11500	34	34	0
12000	35	34	2,85

Analisa Kerja Sistem Dengan Controller Fuzzy Dengan Beban Mekanik 160gr

Dengan beban mekanik 160 gram yang digunakan nilai kecepatan putar pada motor brushless DC dengan nilai set point 11000 memiliki error pembacaan 1,14% sedangkan error terhadap setpoint 2,13%, dengan set point 11500 memiliki error pembacaan 0,79% sedangkan error terhadap setpoint 2,10%, lalu dengan set point 12000 memiliki error pembacaan 0,95% sedangkan error terhadap setpoint 1,05%. Kecepatan putar motor akan semakin tinggi dengan semakin naiknya nilai setpoint. Hasil pembacaan kecepatan putar dengan Controller Fuzzy dengan beban 160 gram dapat dilihat pada tabel 15 dibawah ini.

Tabel 15 Hasil Pembacaan Kecepatan Putar Dengan beban mekanik 160gr

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Monitoring Kecepatan Putar (RPM)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Tachometer (RPM)	Error (%)	Error terhadap set point (%)
11000	10765	10890	1,14	2,13
11500	11258	11348	0,79	2,10
12000	11873	11987	0,95	1,05

Dengan beban 160 gram yang digunakan nilai arus pada motor brushless DC dengan setpoint 11000 memiliki nilai error pembacaan 1,05%, dengan setpoint 11500 memiliki nilai error pembacaan 2,04%, dengan setpoint 12000 memiliki nilai error pembacaan 2,02%. Pada motor brushless DC dengan setpoint yang semakin besar maka nilai arus akan semakin besar. Hasil pembacaan arus dengan Controller Fuzzy dengan beban 160 gram dapat dilihat pada Tabel 16 dibawah ini.

Tabel 16 Hasil Pembacaan Arus Dengan beban 160gr

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Monitoring Arus (A)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Amperemeter (A)	Error (%)
11000	0,94	0,95	1,05
11500	0,96	0,98	2,04
12000	0,97	0,99	2,02

Dengan beban 160 gram nilai suhu pada motor brushless DC dengan setpoint 11000 memiliki nilai error pembacaan 0%, dengan setpoint 11500 memiliki nilai error pembacaan 0%, dengan setpoint 12000 memiliki nilai error pembacaan 0%. Dengan setpoint yang semakin meningkat maka suhu akan mengalami peningkatan. Hasil pembacaan suhu dengan dengan Controller Fuzzy dengan beban 160 gram dapat dilihat pada Tabel 17 dibawah ini.

Tabel 17 Hasil Pembacaan Suhu Dengan beban mekanik 160gr

Setpoint (RPM)	Hasil Pembacaan Monitoring Suhu (°C)	Hasil Pembacaan Alat Ukur Termokopel (°C)	Error (%)
11000	33	33	0
11500	34	34	0
12000	34	34	0

Analisis Kerja Pengaman Motor DC

Pada pengujian ini relay pada motor brushless DC diatur dengan batasan arus 1 A. Motor DC dijalankan dengan beban normal 100 gram dan 160 gram, dan juga dijalankan dengan beban lebih yaitu 250 gram dengan setpoint maksimal yaitu 12000 rpm. Pengaturan relay dalam membaca batasan arus akan hidup ketika tombol pengaman pada aplikasi blynk dihidupkan, jadi relay membaca arus lebih ketika pengaman sedang hidup jika sistem membaca nilai arus melebihi batasan yang ditentukan maka relay bekerja mematikan motor. Relay terpasang dalam keadaan netraly close (NC) jadi relay off saat keadaan motor hidup dan relay on untuk mematikan motor jika arus melebihi batas pengaman. Hasil pengujian pengaman motor DC dapat dilihat pada Tabel 18 dibawah ini.

Tabel 18 Hasil Pengujian Pengaman Motor DC

Setpoint (rpm)	Beban (gram)	Nilai Pembatas Arus (A)	Pembacaan nilai system (A)	Status Relay	Keterangan pengaman
12000	100	1	0,85	Off	Bekerja
12000	160	1	0,97	Off	Bekerja
12000	250	1	1,02	On	Bekerja

Dari hasil Tabel 18 dapat dilihat sistem pengaman motor DC dari arus lebih berjalan dengan baik. Dari batas arus yang ditentukan untuk mematikan motor DC yakni 1 A dengan setpoint 12000 dengan beban 100 gr arus 0,85 A status relay off, dengan beban 160 gr arus 0,97 A status relay off, dengan beban lebih 250 gr arus 1,02 A status relay on. Dari keseluruhan percobaan diatas relay akan on bekerja mematikan motor ketika diberikan beban lebih yaitu 250gr.

PENUTUP

Simpulan

Hasil kinerja pembacaan sistem monitoring kecepatan putar, arus, dan suhu motor DC dengan kontrol fuzzy tanpa beban dengan error pembacaan kecepatan putar, arus dan suhu secara berturut-turut dengan setpoint 11000 memiliki error 2,39%,1,88%,0%, dengan setpoint 11500 memiliki error 0,69%,1,81%,0% dan dengan setpoint 12000 memiliki error 0,88%,1,75%,0%.

Hasil dari kinerja pengaturan kecepatan putar motor brushless DC menggunakan kontrol fuzzy dengan 3 set point 11000, 11500, 12000 memiliki nilai error rerata terhadap setpoint tanpa beban yaitu 0.11%, beban 100 gram 0%, beban 160 gram 2.54%. Dari hasil pengaturan kecepatan putar terhadap setpoint memiliki nilai error yang kecil dan tingkat keakurasian yang cukup baik.

Dari hasil penelitian pengujian kestabilan kecepatan motor brushless DC dengan kontrol fuzzy logic yaitu tanpa kontrol fuzzy dan tidak berbeban dengan setpoint 11000 memiliki error 9,9%, dengan setpoint 11500 memiliki error 6,86%, dan dengan setpoint 12000 memiliki error 3,07%. Sedangkan dengan menggunakan kontrol fuzzy dan tidak berbeban dengan setpoint 11000 memiliki error 9,9%, dengan setpoint 11500 memiliki error 6,86%, dan dengan setpoint 12000 memiliki error 3,07%, maka rancang bangun monitoring motor brushless DC berbasis internet of things dengan kontrol fuzzy yang paling baik adalah dengan menggunakan kontrol fuzzy logic karena memiliki error lebih kecil dari tanpa menggunakan kontrol fuzzy logic.

Saran

Sistem yang dibuat tidak dapat mengatur nilai batasan arus dan setpoint melalui operator, dibutuhkan aplikasi operator yang lebih baik agar dapat mengatur nilai batasan arus dan setpoint melalui operator. Hasil pembacaan sensor kecepatan masih belum stabil, dibutuhkan encoder agar pembacaan kecepatan putar memiliki akurasi yang cukup baik. Agar menggunakan motor yang lebih baik untuk hasil yang lebih maksimal.

Daftar Pustaka

- Chandra, Richard Nathaniel, 2014. *Internet Of Things Dan Embedded System Untuk Indonesia*. Serpong.
- Kusumadewi, Sri, dan Hari Purnomo. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Madjid, Axel Reinald. 2019. "Prototype Monitoring Arus, Dan Suhu Pada Transformator Distribusi Berbasis Internet Of Things (Iot)". Surabaya.
- Ridhwan, Muhammad. 2012. "Rancang Bangun Penggerak Daya Motor Brushless Dc 350W/48v." Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
- Saat, Shahrizal Bin. 2014. "DC Motor Speed Control Using Fuzzy Logic Controller." Malaysia: Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
- Samsugi, 2018. "Arduino Dan Modul Wifi Esp8266 Sebagai Media Kendali Jarak Jauh Dengan Antarmuka Berbasis Android". Bandar Lampung.
- Wardana, I Nyoman Kusuma, 2015, *Teknik Antarmuka MATLAB dan Arduino, MiaraniDIY*, Yogyakarta