

Pengaruh Posisi Sudut Optimum *Reed Switch* Pada Motor *Brushless DC Axial Flux*

Nur Roin Zainal

roinzain@gmail.com
Universitas Jember

Widyono Hadi

widyono.hadi1961@gmail.com
Universitas Jember

Samsul Bachri M

bachri@unej.ac.id
Universitas Jember

Abstrak

Motor *brushless DC* (BLDC) merupakan salah satu jenis motor DC yang memiliki magnet permanen di bagian rotor dan kumparan jangkar pada stator. Motor *Brushless DC* ini dirancang dengan konstruksi *double stator*, yakni memiliki empat kutub di bawah rotor dan empat kutub di atas rotor, di mana masing-masing kutub dililit secara *double* dengan jumlah 400 lilitan dan ukuran kawat 0,2 mm, sedangkan perubahan sudut pada *reed switch* dilakukan untuk mengetahui pengaruh putaran dan kecepatan rotor yang terjadi pada motor saat *reed switch* dipindah dengan posisi sudut yang berbeda yaitu di sebelah kanan kumparan 5°, 15°, 25°, 35° dan di sebelah kiri kumparan 5°, 15°, 25°, 35°, dengan variasi tegangan 5 volt, 10 volt, 15 volt, 20 volt dan 24 volt pada tiap-tiap sudut. Dari hasil penelitian didapatkan kecepatan optimum pada posisi sudut 5° kiri kumparan sebesar 2869 rpm dengan tegangan 24 volt dan arus sebesar 0,68 A. Sedangkan *error percent* terbesar pada posisi sudut *reed switch* 15° dengan tegangan 15 volt sebesar 7,6 % dan tegangan 24 volt sebesar 7,6%. Sedangkan untuk *error percent* terkecil pada posisi sudut *reed switch* 5° dengan tegangan 20 volt sebesar 0,93 %. Perubahan letak *reed switch* berpengaruh pada kecepatan dan putaran. Ketika *reed switch* berada di sebelah kanan kumparan, rotor akan berputar ke kanan dan sebaliknya ketika *reed switch* berada di sebelah kiri kumparan, rotor berputar ke kiri.

Kata Kunci — Motor, *axial flux*, *reed switch*.

Abstract

Brushless DC motor (BLDC) is one type of DC motor that has a permanent magnet in the rotor and anchor coil on the stator. The Brushless DC motor is designed with a double stator construction, which has four poles under the rotor and four poles above the rotor, where each pole is double-wired with 400 turns and a 0.2 mm wire size, while the angle change at reed switches are performed to determine the effect of rotation and velocity of the rotor that occurs on the motor when the reed switch is moved to a different angle position ie to the right of the 5°, 15°, 25°, 35° and 5° coils to the left of the coil 5°, 15°, 25°, 35°, with variation of 5 volt, 10 volt, 15 volt, 20 volt and 24 volts at each angle. From the research results obtained optimum velocity at 5° rpm angle position of the left coil of 2869 rpm with a voltage of 24 volts and the current of 0.68 A. While the biggest

error percent at the position of the corner reed switch 15° with a voltage of 15 volts at 7.6% and the voltage 24 volts of 7.6%. As for the smallest error percent at the position of the angle reed switch 5° with 20 volt voltage of 0.93%. Reed switch location changes affect speed and rotation. When the reed switch is to the right of the coil, the rotor will rotate to the right and vice versa when the reed switch is to the left of the coil, the rotor rotates to the left.

Keywords — Motor, *axial flux*, *reed switch*

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kemajuan dan teknologi sekarang ini, seperti di bidang informasi, dunia usaha, alat transportasi dan sebagainya, maka motor listrik menjadi bagian yang tak terpisahkan dari kemajuan teknologi tersebut. Motor-motor listrik berkembang untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang. Motor merupakan alat yang dapat berputar jika dialiri dengan listrik. Jenis motor yang sering digunakan adalah motor DC karena mudah dalam pengendalian kecepatan yakni hanya mengatur nilai tegangan atau arus medan saja namun motor DC menggunakan komutator mekanik (sikat) sehingga memiliki keandalan rendah, karena terdapat rugi-rugi sikat dan memerlukan pemeliharaan atau penggantian secara berkala. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan motor *brushless DC* yang menggunakan komutasi elektrik sehingga memiliki efisiensi yang tinggi dan waktu operasi yang lama.

Motor *brushless DC* (BLDC) merupakan salah satu jenis motor DC yang memiliki magnet permanen di bagian rotor dan kumparan jangkar pada stator. Terdapat dua jenis motor *brushless DC* jika dilihat dari segi arah aliran fluxnya, yaitu *radial flux brushless DC* dan *axial flux brushless DC* [6]. Secara umum motor *Brushless DC* terdiri dari dua bagian, yakni, rotor, bagian yang bergerak, yang terbuat dari permanen magnet dan stator, bagian yang tidak bergerak, yang terbuat dari kumparan 3 fasa. Walaupun merupakan motor listrik *synchronous AC* 3 fasa, motor ini tetap disebut dengan *brushless DC* karena pada implementasinya *brushless DC* menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa. Tujuan dari pemberian tegangan AC 3 fasa

pada stator *brushless* DC adalah menciptakan medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor[1].

Dibandingkan dengan motor DC, kelebihan motor *brushless* DC adalah efisiensi lebih tinggi dari pada motor induksi, dimensi lebih kecil dari pada motor arus searah konvensional. Selain itu, dengan tidak adanya sikat, perawatan menjadi ringan, hampir tidak ada derau/*noise*, dan bisa dioperasikan pada lingkungan yang mudah terbakar. Kelebihan lain dibanding mesin induksi adalah tanggapannya lebih cepat, umur pakai lebih lama, dan mempunyai rentang kecepatan yang lebar[2].

Pada penelitian kali ini merancang sebuah motor *brushless* DC dengan menggunakan *double* stator serta perubahan posisi sudut optimal pada *reed switch*. Motor *brushless* DC dirancang dengan konstruksi yang berbeda, yakni memiliki empat kutub di bawah rotor dan empat kutub di atas rotor, di mana masing-masing kutub dililit secara *double* dengan jumlah lilitan yang sama. Perbedaan rancang bangun akan mempengaruhi kuat medan pada kutub serta kecepatan pada rotor. Perubahan sudut pada *reed switch* dilakukan untuk mengetahui pengaruh putaran dan kecepatan rotor yang terjadi pada motor *brushless* DC axial fluks saat sensor magnet (*reed switch*) di pindah dengan sudut yang berbeda.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Brushless Motor

Brushless DC (BLDC) motor atau dapat disebut juga dengan BLAC motor merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa. Perbedaan pemberian nama ini terjadi karena BLDC memiliki *back* EMF berbentuk trapezoid sedangkan BLAC memiliki *back* EMF berbentuk sinusoidal. Walaupun demikian keduanya memiliki struktur yang sama dan dapat dikendalikan dengan metode six-step maupun metode PWM. Dibandingkan dengan motor DC jenis lainnya, BLDC memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakannya *brush*. Dibandingkan dengan motor induksi, BLDC memiliki efisiensi yang lebih. Walaupun memiliki kelebihan dibandingkan dengan motor jenis lain, metode pengendalian motor BLDC jauh lebih rumit untuk kecepatan dan torsi yang konstan, karena tidak adanya *brush* yang menunjang proses komutasi dan harga untuk motor BLDC jauh lebih mahal. Motor DC tanpa sikat (*brush*) menggunakan bahan semikonduktor untuk merubah maupun membalik arah putarannya untuk menggerakkan motor, serta tingkat kebisingan motor jenis ini rendah karena putarannya halus[3].

B. Mesin Flux Axial

Mesin fluks aksial merupakan salah satu tipe alternatif selain mesin silinder fluks radial. Mesin jenis ini memiliki konstruksi yang kompak, berbentuk piringan, dan kerapatan daya yang besar. Mesin jenis ini cocok untuk berbagai keperluan, seperti: pompa, kontrol katup, kipas, peralatan mesin, robot, dan peralatan industri. Mesin-mesin jenis ini banyak digunakan untuk penggunaan servo torsi rendah dan aplikasi pengaturan kecepatan. Mesin ini disebut juga mesin

tipe piringan, dengan desain satu lapis atau dua lapis, dengan atau tanpa slot jangkar, dengan rotor internal atau eksternal. Untuk mesin dengan daya rendah biasanya diberi slot kumparan dan permukaan magnet permanen. Saat daya keluaran dari mesin fluks aksial ini meningkat, kontak permukaan antara rotor dengan poros akan semakin dekat. Hal ini mengakibatkan pentingnya desain dan menyatukan rotor dengan poros agar menghindari kerusakan. Dalam beberapa hal, rotor diberi tambahan komponen transmisi daya untuk mengoptimalkan volume, massa, transfer daya dan waktu perakitan. Penggunaan mesin listrik hal ini mengakibatkan peningkatan efisiensi dan pengurangan biaya. Kebanyakan aplikasi dari mesin fluks aksial ini adalah untuk motor DC tanpa sikat[4].

C. Sensor Magnet (*reed switch*)

Reed switch merupakan salah satu jenis sensor yang terbilang sangat sederhana. *Reed switch* hanya terdiri dari dua buah plat yang saling berdekatan. *Reed Switch* adalah sensor yang berfungsi juga sebagai saklar yang aktif atau terhubung apabila di area jangkauannya terdapat medan magnet. Medan magnet yang cukup kuat jika melalui area sekitar *reed switch*, dua buah plat yang saling berdekatan tadi akan terhubung sehingga akan memberikan rangkaian tertutup bagi rangkaian yang dipasangkannya[5].

D. Transistor

Transistor adalah komponen elektronika semikonduktor yang memiliki 3 kaki elektroda, yaitu basis (dasar), kolektor (pengumpul) dan emitor (pemancar). Komponen ini berfungsi sebagai penguat, pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal dan masih banyak lagi fungsi lainnya. Selain itu, transistor juga dapat digunakan sebagai kran listrik sehingga dapat mengalirkan listrik dengan sangat akurat dan sumber listriknya. Transistor sebenarnya berasal dari kata “transfer” yang berarti pemindahan dan “resistor” yang berarti penghambat. Transistor pertama kali ditemukan pada tahun 1948 oleh William Shockley, John Barden dan W.H. Brattain. Tetapi, komponen ini mulai digunakan pada tahun 1958. Jenis Transistor terbagi menjadi 2, yaitu transistor tipe P-N-P dan transistor N-P-N[7].

III. METODE PENELITIAN

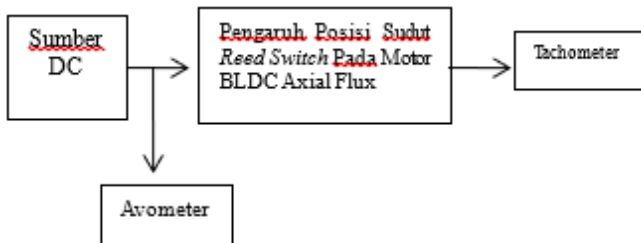
A. Flowchart Penelitian

Tahap awal penelitian dimulai dengan mencari literatur setelah perumusan masalah. Literatur berasal dari landasan teori tentang motor BLDC, penelitian-penelitian sebelumnya, maupun teori yang menunjang lainnya. Langkah selanjutnya dilakukan perancangan motor *brushless* DC axial flux. Perancangan motor *brushless* DC axial flux terdiri dari perancangan skematik dan pembuatan komponen BLDC. Selanjutnya yaitu pengujian dan perhitungan pada data yang sudah direncanakan. Berikutnya adalah pengambilan data yang diperlukan untuk dianalisa dari data yang telah diambil. Tahap akhir setelah analisa data yakni penyusunan laporan

termasuk penarikan kesimpulan dan saran.

B. Blok Diagram Sistem

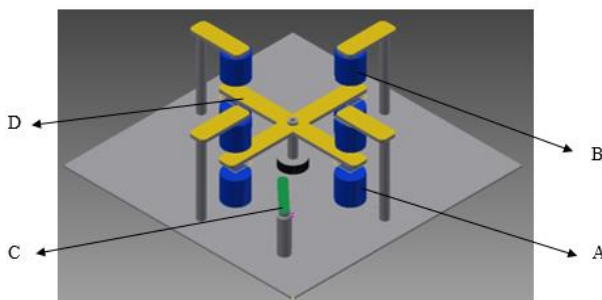
Judul Prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram di atas. Sumber DC yang digunakan berasal dari *power supply* yaitu dari tegangan 0 volt sampai 24 volt. Sumber DC tersebut digunakan sebagai suplai tegangan pada motor. Pada motor BLDC *axial flux* ini empat magnet permanen diletakkan pada rotor motor tersebut. Stator pada motor ini dirancang dengan menggunakan delapan *coil* yaitu empat *coil* di bawah magnet dan empat *coil* di atas magnet serta terdapat sensor magnet (*reed switch*). Pengujian pada motor ini untuk memperoleh karakteristik medan magnet, kecepatan dan arus serta *fluk* medan maget dengan menggunakan alat ukur avometer, tachometer dan gaussmeter.



Gambar 2. Blok diagram sistem

C. Perancangan Motor BLDC Axial Flux

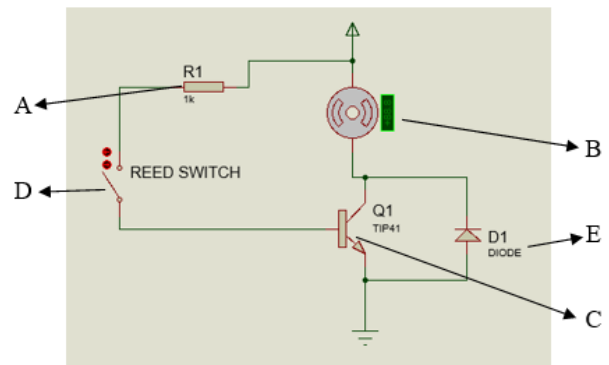
Perancangan motor listrik BLDC ini meliputi komponen utama dari motor listrik yakni perancangan stator dan perancangan rotor. BLDC dirancang dengan menggunakan tegangan 24 Vdc, magnet *Neodymium* atau magnet permanen sebagai rotor dan penentuan bentuk stator yang ditentukan oleh banyaknya lilitan.



Gambar 3 merupakan rancangan motor BLDC dimana (A) adalah stator bawah, (B) adalah stator atas, (C) adalah sensor magnet (*reed switch*) dan (D) adalah balok-balok rotor.

D. Perancangan Driver Motor BLDC Axial Flux

Motor BLDC yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi seperti pada tabel 1.



Gambar 4. Driver motor BLDC

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

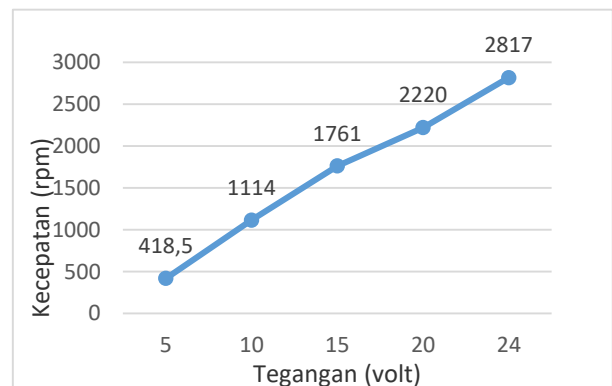
A. Pengujian Motor Brushless DC Axial Flux

Pada pengujian ini dicari kecepatan optimum pada motor dengan posisi sudut *reed switch* yang berbeda yaitu disebelah kanan kumparan dengan sudut sebesar 5°, 15°, 25°, 35° dan sebelah kiri kumparan dengan sudut sebesar 5°, 15°, 25°, 35°. Dalam pengujian ini digunakan variasi tegangan sebesar 5 volt, 10 volt, 15 volt, 20 volt dan 24 volt. Kecepatan putaran motor tertinggi yakni 2869 rpm.

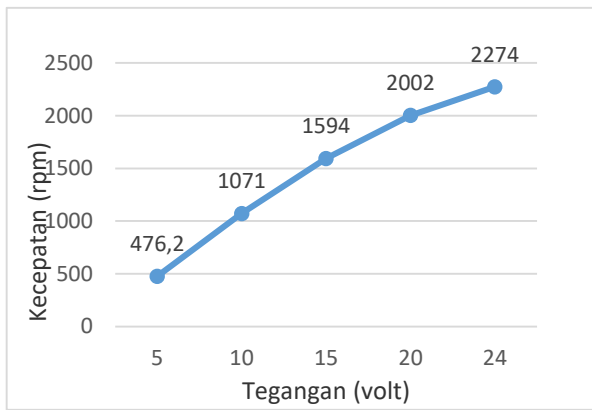
Tabel 1. Data posisi *reed switch* 5° kiri kumparan

V (volt)	Sudut (derajat)	I (A)	Nr (rpm)
5	5°	0,16	407,2
10	5°	0,30	1125
15	5°	0,43	1897
20	5°	0,58	2427
24	5°	0,68	2869

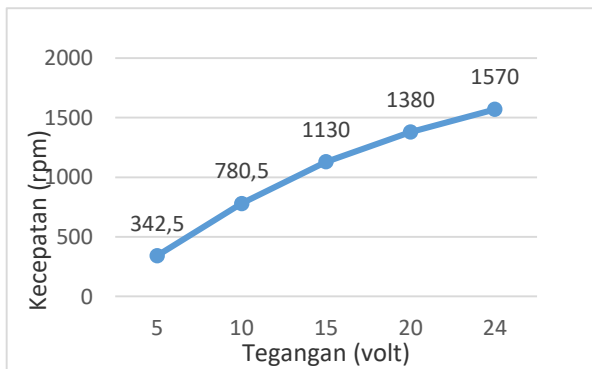
Untuk mengetahui karakteristik dari setiap percobaan sudut *reed switch* yang berbeda dapat dilihat pada grafik sebagai berikut.



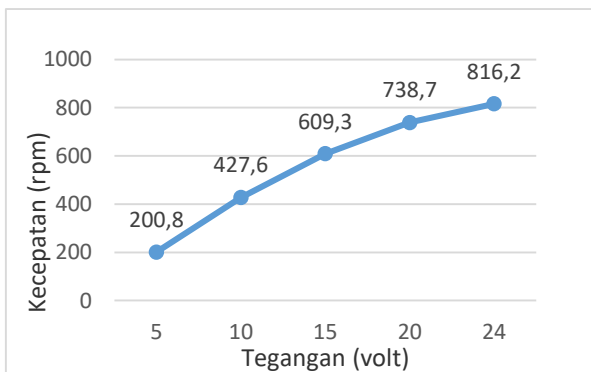
Gambar 5. Grafik hubungan kecepatan dengan tegangan pada posisi sudut *reed switch* 5° kanan kumparan



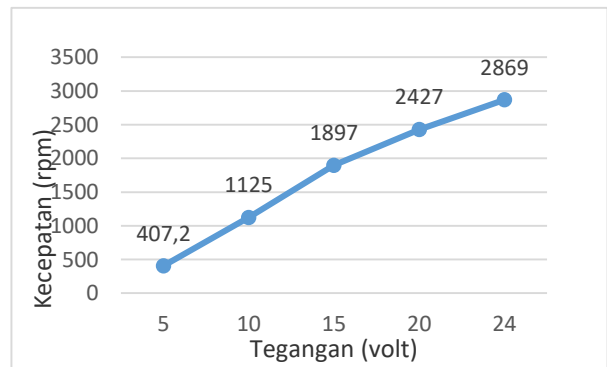
Gambar 6. Grafik hubungan kecepatan dengan tegangan pada posisi sudut *reed switch* 15° kanan kumparan



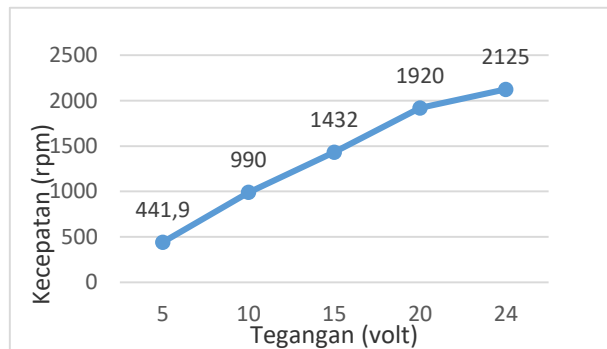
Gambar 7. Grafik hubungan kecepatan dengan tegangan pada posisi sudut *reed switch* 25° kanan kumparan



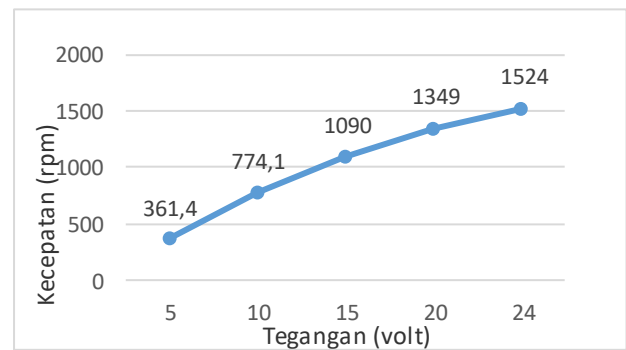
Gambar 8. Grafik hubungan kecepatan dengan tegangan pada posisi sudut *reed switch* 35° kanan kumparan



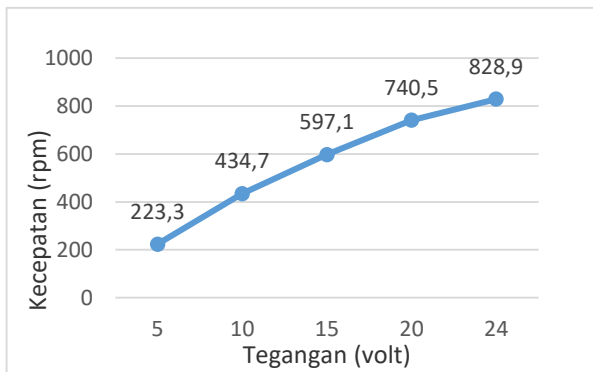
Gambar 9. Grafik hubungan kecepatan dengan tegangan pada posisi sudut *reed switch* 5° kiri kumparan



Gambar 10. Grafik hubungan kecepatan dengan tegangan pada posisi sudut *reed switch* 15° kiri kumparan



Gambar 11. Grafik hubungan kecepatan dengan tegangan pada posisi sudut *reed switch* 25° kiri kumparan



Gambar 12. Grafik hubungan kecepatan dengan tegangan pada posisi sudut reed switch 35° kiri kumparan

B. Perhitungan Medan Magnet, Torsi dan Kecepatan

Untuk mencari kerapatan medan magnet terlebih dulu mengetahui arus yang diperoleh ketika pengukuran. Medan magnet (B) dapat di hitung dengan persamaan berikut.

$$B = \frac{\Phi}{A} \tag{1}$$

Pada persamaan 1 dapat di ketahui bahwa (A) adalah luas penampang dan (Φ) adalah fluks magnet kumparan. Untuk mengetahui perhitungan kecepatan (Nr) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Nr = \frac{120}{2\pi pN} \times \frac{Ea}{\Phi} \tag{2}$$

Pada persamaan 2 dapat diketahui bahwa (p) adalah kutub motor, (N) adalah jumlah lilitan kumparan dan (Ea) adalah tegangan gaya gerak listrik (GGL). Untuk mencari torsi (T) dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut.

$$T = \frac{120}{p} \times \frac{EaIa}{Nr} \tag{3}$$

Pada persamaan 3 dapat diketahui bahwa (Ia) adalah arus pada motor. Setelah mencari perhitungan didapatkan data tertinggi dari beberapa perhitungan, yaitu pada perhitungan sudut 5° kiri kumparan.

Tabel 2. Data hasil perhitungan medan magnet, torsi dan kecepatan motor pada posisi sudut reed switch 5° kiri kumparan

Tegangan (volt)	Sudut (derajat)	B (tesla)	T (N.m)	Nr (rpm)
5	5°	0,369	0,017	440
10	5°	0,373	0,024	1150
15	5°	0,375	0,031	1900
20	5°	0,385	0,044	2450

24	5°	0,397	0,053	2880
----	----	-------	-------	------

C. Perbandingan Data Kecepatan Hasil Pengukuran dan Data Kecepatan Hasil Perhitungan

Untuk data hasil pengukuran dan data hasil perhitungan akan dibandingkan untuk mendapatkan error percent.

$$Error\ Percent = \left| \frac{Data\ Perhitungan - Data\ pengukuran \times 100}{Data\ Perhitungan} \right|$$

Dari rumus error percent diatas maka dapat ditemukan perbandingan antara data kecepatan hasil pengukuran dengan data kecepatan hasil perhitungan.

Tabel 3. Perbandingan data kecepatan hasil pengukuran dan data kecepatan hasil perhitungan pada posisi sudut reed switch kiri kumparan

Tegangan Uji (Volt)	Sudut (Derajat)	Nr Pengukuran (rpm)	Nr Perhitungan (rpm)	Error Percent (E%)
5	5	407,2	440	7,4%
10	5	1125	1170	3,8%
15	5	1897	1900	0,1%
20	5	2427	2450	0,9%
24	5	2869	2880	1,0%
5	15	441,9	470	1,8%
10	15	990,0	1050	2,6%
15	15	1432	1550	7,6%
20	15	1920	2100	4,6%
24	15	2125	2300	7,6%
5	25	361,4	390	7,3%
10	25	774,1	800	3,2%
15	25	1090	1100	0,9%
20	25	1349	1400	3,6%
24	25	1524	1600	5,8%
5	35	223,3	250	1,0%
10	35	434,7	470	7,5%
15	35	597,1	620	3,6%
20	35	740,5	760	2,5%
24	35	828,9	860	3,6%



V. KESIMPULAN (PENUTUP)

Berdasarkan hasil pengambilan dan analisis data, dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengukuran didapatkan kecepatan optimum pada posisi sudut 5° kiri kumparan sebesar 2869 rpm dengan tegangan 24 volt dan arus sebesar 0,68 A, sedangkan perubahan letak *reed switch* berpengaruh pada kecepatan dan putaran. Ketika *reed switch* berada di sebelah kanan kumparan maka rotor akan berputar ke kanan dan sebaliknya ketika *reed switch* berada di sebelah kiri kumparan maka rotor berputar ke kiri. Hal ini terjadi karena daya tolak magnet berubah seiring perubahan posisi *reed switch*.
2. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat *error percent* terbesar pada didapatkan *error percent* terbesar saat pengujian posisi sudut *reed switch* 15° dengan menggunakan tegangan 15 volt sebesar 7,6 % dan tegangan 24 volt sebesar 7,6%. Sedangkan untuk *error percent* terkecil saat pengujian posisi sudut *reed switch* 5° dengan tegangan 20 volt sebesar 0,9 %. *Error percent* terjadi dikarenakan beberapa faktor, terutama dalam segi mekanis penempatan posisi *reed switch* kurang akurat dan dalam hal penggunaan alat ukur juga berpengaruh terhadap *error percent* yang didapat.
3. Pada hasil perhitungan torsi, medan magnet dan kecepatan yang diperoleh semakin besar tegangan masukan maka semakin besar pula torsi, medan magnet dan kecepatan. Sebaliknya semakin kecil tegangan masukan maka semakin

kecil pula torsi, medan magnet dan kecepatan. Torsi tertinggi pada tegangan 24 volt dengan sudut 35° kanan kumparan sebesar 0,203 N.m, medan magnet tertinggi pada tegangan 24 volt dengan sudut 35° kiri kumparan sebesar 1,121 tesla, kecepatan tertinggi pada tegangan 24 volt dengan sudut 5° kiri kumparan sebesar 2880 rpm.

REFERENSI

- [1] Dharmawan, Abe. 2009. *Pengendali Motor DC Brushless dengan Metode PWM Sinusoidal Menggunakan ATmega 16*. Universitas Indonesia.
- [2] Yulianta Dwi, dkk. (2015). *Pengendalian Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) menggunakan Metode Logika Fuzzy*. Yogyakarta. Universitas Gajah Mada.
- [3] Tri Sutrisno, Himawan; Borian, Pinto. 2012. *Kursi Roda Elektrik*. Skripsi S1. Fakultas Ilmu Komputer. Jakarta. Universitas Bina Nusantara
- [4] Jati., Dimas Waluyo, Tejo Sukmadi dan Karnoto. 2013. *Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Dengan Variasi Celah Udara*. Semarang. Universitas Diponegoro.
- [5] Yando, Tomy Okta Syafri. 2015. *Perancangan Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Security Key Dan Sensor Kecepatan*. Bandung. niversitas Telkom
- [6] Ghoni, Achmad Abdul. 2015. *Desain dan Analisis Variabel Air Gap pada Motor Axial Flux Brushless DC Berbasis 3D Finite Element Method Untuk Aplikasi Kenaraan Moor Listrik*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh November
- [7] Mismail Budiono. 2006. *Dasar Teknik Elektro*. Malang: Bayumedia Publishing