

PENGARUH LAP WINDING DAN WAVE WINDING DENGAN KAWAT TEMBAGA HELLENIC TERHADAP KECEPATAN DAN TORSI MOTOR POWER WINDOW TOYOTA AVANZA

Risky Martha Ardiyan Kurniawan¹, Imam Muda Nauri², Fuad Indra Kusuma³
¹⁻³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
¹riskymartha4@gmail.com

Abstrak

Power Window adalah fitur kendaraan yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan kaca pintu kendaraan dengan menekan tombol yang ada pada door trim. Dalam cara kerja power window memanfaatkan tenaga elektrik dari motor DC untuk memutar mekanisme pengangkat kaca. Semakin lama motor DC digunakan akan menurunkan kualitas dari motor DC dikarenakan isolasi yang menipis maka perlu dilakukan rewinding. Lilitan yang digunakan dalam proses rewinding adalah lap winding dan wave winding. Tujuan dari penelitian ini adalah melihat jenis lilitan mana yang lebih baik digunakan apabila terjadi kerusakan pada motor power window. Hasil penelitian diketahui bahwa wave winding memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan standar dan lap winding. Pada wave winding menghasilkan rata-rata kecepatan sebesar 8304 RPM sedangkan pada standar 7794,5 RPM dan lap winding 6802,25 RPM. Pada pengujian torsi memiliki hasil yang tidak signifikan dengan torsi terbesar yang di awal hampir sama yaitu lilitan standar sebesar 0,01041 Nm, lap winding sebesar 0,0191 Nm, dan wave winding 0,01197 Nm. Dengan hasil motor DC power window yang dililit menggunakan wave winding memiliki efisiensi lebih baik dibandingkan dengan lap winding.

Kata kunci: power window, winding, motor DC

Abstract

Power Window is a vehicle feature that functions to raise and lower the vehicle door glass by pressing the button on the door trim. In how the power window works, it utilizes electric power from a DC motor to rotate the glass lifting mechanism. The longer the DC motor is used, the lower the quality of the DC motor due to thinning insulation, so rewinding is necessary. The windings used in the rewinding process are lap winding and wave winding. The purpose of this study was to see which type of winding is better to use if there is damage to the power window motor. The results showed that wave winding has better results than standard and lap winding. The wave winding produces an average speed of 8304 RPM while the standard is 7794.5 RPM and the lap winding is 6802.25 RPM. In the torsion test, the results were not significant with the largest torque at the beginning almost the same, namely standard winding of 0.01041 Nm, lap winding of 0.0191 Nm, and wave winding of 0.01197 Nm. With the result that the DC motor power window wrapped using wave winding has better efficiency than lap winding.

Keywords: power window, winding, DC motor

Power window merupakan salah satu sistem kelistrikan yang diciptakan untuk menambah kenyamanan dalam berkendara. Menurut Prawoto & Yusof (2013) power window adalah sebuah teknologi yang tersusun dari rangkaian elektronik dan mekanik yang berfungsi untuk mekanisme naik dan turun kaca pintu kendaraan hanya dengan menekan sebuah tombol. Pada mekanisme power window sistem kerjanya menggunakan perpaduan dari elektrik dan konvensional dimana aliran arus digunakan untuk memutar motor DC dan sistem pengangkat kaca tetap menggunakan

konvensional untuk sistem kerjanya. Dalam mekanisme kerjanya power window sangat bergantung pada motor DC, apabila motor dc mengalami kerusakan maka kaca tidak akan bisa naik atau turun.

Berdasarkan dengan prinsip kerja dari motor DC didasarkan pada eksperimen Lorentz, yang menunjukkan bahwa “Jika sebuah penghantar listrik berarus listrik berada dalam medan magnet, penghantar tersebut akan menghasilkan gaya magnet” (Bagia & Parsa. 2018:14), maka putaran yang dihasilkan oleh motor DC sesuai dengan prinsip gaya

elektromagnet. Maka dari itu dalam sebuah motor DC harus menghasilkan gaya elektromagnet yang dapat menghasilkan garis gaya magnet. Proses terbentuknya ggl pada armature disebabkan karena pengaruh dari armature coil yang memotong kemagnetan yang ada pada field coil sehingga membuat motor DC berputar (Agustina & Nugroho. 2015).

Dalam cara kerja motor listrik terdapat bagian penting yang dikenal sebagai lilitan. Dengan adanya lilitan aliran arus dari sumber akan diubah menjadi magnet dikarenakan pengaruh dari kawat yang dibengkokkan menjadi sebuah loop/lingkaran. Lap winding adalah jenis lilitan dua lapisan karena dalam proses akhir dari lilitan dihubungkan dengan komutator terdekat sehingga pada saat memulai lilitan berikutnya akan bertumpukan pada lilitan sebelumnya (Wijaya, M. 2001:301). Wave winding merupakan jenis lilitan yang dihubungkan dari ujung pertama ke ujung selanjutnya dengan cara mencari ujung segmen dengan polaritas yang sama (Wijaya, M. 2001:301).

Dalam menentukan performa dari motor DC data yang sering digunakan adalah kecepatan dan torsi yang dihasilkan dari motor DC. Untuk menghitung kecepatan pada benda yang bergerak kecepatan juga dapat digunakan pada benda yang berputar, seperti putaran motor listrik dan putaran mesin. Kecepatan dalam benda yang berputar dinyatakan dengan RPM (revolution per minutes) (Iftadi, I. 2015:164). Dalam mengetahui kecepatan pada benda yang berputar menggunakan tachometer. Cara kerja dari tachometer dengan cara menggunakan gelombang inframerah yang ditembakkan pada output motor. Sedangkan torsi adalah momen gaya merupakan bentuk ekuivalen rotasi dari gaya linier. Konsep dari torsi pertama kali dikeluarkan oleh Archimedes yang menggunakan alat peraga tuas. Pada umumnya torsi dapat disebut dengan gaya rotasi (Iftadi, I. 2015:161). Untuk mengetahui nilai dari torsi motor DC maka harus mengetahui nilai dari daya (P) dan kecepatan sudut (ω). Daya adalah salah satu acuan yang digunakan untuk mengukur performa dari motor DC (Hidayat. 2020:12). Daya listrik adalah jumlah energi listrik yang digunakan dalam sebuah rangkaian dalam jangka waktu

tertentu. Mengutip dari Parhan. N (2013:108) untuk menghitung daya dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

Keterangan:

P = Daya Motor (Watt)
V = Tegangan input (Volt)
I = Arus Input (Ampere)
R = Hambatan (Ohm)

Setelah mengetahui nilai dari daya dan kecepatan data yang didapatkan tidak bisa langsung digunakan untuk perhitungan torsi. Data dari kecepatan akan diolah terlebih dahulu dengan menggunakan rumus kecepatan sudut untuk mengetahui frekuensi sudut dari motor DC dan sumbu putarannya. Mengutip dari Sabtono, dkk (2018) Untuk menghitung kecepatan sudut dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60}$$

Keterangan:

ω = Kecepatan Sudut (Rad/s)
N = Kecepatan Motor (RPM)

Setelah data dari daya dan kecepatan sudut diperoleh maka tahap selanjutnya adalah memasukkan pada rumus torsi. Hubungan antara daya, kecepatan, dan torsi adalah sebagai berikut. Semakin besar daya maka akan semakin besar torsi yang didapatkan dan sebaliknya semakin tinggi kecepatan akan mengakibatkan torsi berkurang. Dengan demikian rumus yang digunakan dalam perhitungan torsi yang dikutip dari Hidayat (2020:13) adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Keterangan:

T = Torsi Motor (Nm)
P = Daya Motor (Watt)
 ω = Kecepatan Sudut (Rad/s)

METODE PENELITIAN

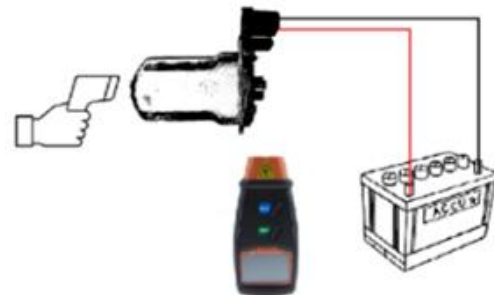
Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari kecepatan dan torsi pada motor DC power window Toyota Avanza. pada proses penelitian menggunakan jenis kawat tembaga hellenic yang mudah dijumpai di toko-toko elektronik terdekat. Berdasarkan dengan pemaparan di atas maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Lap Winding dan Wave Winding dengan Kawat Tembaga Hellenic terhadap Kecepatan dan Torsi Motor Power Window Toyota Avanza”.

Penelitian ini menggunakan jenis metode penelitian eksperimen dengan menggunakan dua variabel bebas dan dua variabel terikat. Tujuan dari penelitian eksperimen adalah untuk memperlakukan dan membandingkan kelompok eksperimen untuk melihat apakah ada hubungan sebab akibat dan seberapa besar hubungan tersebut. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lap winding dan wave winding, sedangkan untuk variabel terikat yang digunakan adalah kecepatan dan torsi. Untuk menghasilkan hasil penelitian yang baik maka penelitian ini memerlukan variabel kontrol agar hubungan dari variabel bebas dan variabel terikat tidak terpengaruh dengan faktor eksternal. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor DC power window Toyota Avanza, Proses melilit menggunakan kawat tembaga hellenic yang dibeli di toko Cahaya Kota Kediri, jumlah lilitan tiap segmen adalah 25 dengan panjang kawat yang sama, diameter kawat tembaga adalah 0.35 mm sesuai dengan ukuran standar, tegangan baterai yang digunakan adalah 12 V dengan arus 30 A.

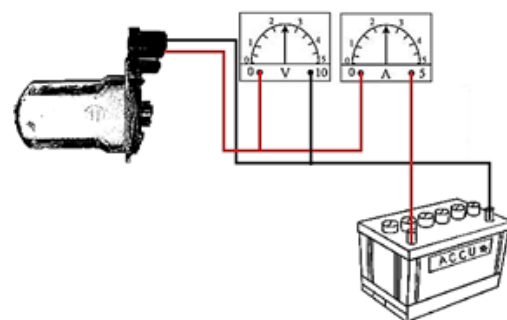
Dalam proses pengambilan data menggunakan beberapa alat untuk mengetahui hasil dari kecepatan dan torsi motor DC. Untuk menghitung kecepatan menggunakan alat tachometer sedangkan untuk menghitung torsi menggunakan multimeter. Terdapat alat tambahan yaitu thermo gun yang berfungsi untuk mengamati suhu yang dihasilkan oleh motor DC power window. Untuk rentang waktu pengujian dilakukan selama 15 menit dengan pembagian waktu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit.

Tahapan-tahapan dalam proses pengambilan data adalah melakukan pengujian

hubung singkat untuk memastikan tidak ada segmen yang saling berhubungan sehingga akan mengakibatkan korsleting. Setelah pengecekan hubung singkat tahap pertama dalam proses pengambilan data adalah kecepatan. Dalam proses pengambilan kecepatan juga dilakukan pengambilan data suhu untuk mengetahui pada suhu berapakah kecepatan dari motor DC mengalami penurunan. Setelah melakukan pengujian tahap selanjutnya adalah pengukuran torsi dengan menggunakan dua multimeter untuk mengetahui nilai dari tegangan dan arus untuk dimasukkan dalam rumus yang dikutip dari buku Parhan. N (2013:108) yaitu $P = V \cdot I$. Setelah mengetahui nilai dari daya berikutnya adalah menghitung kecepatan sudut dari motor DC dengan menggunakan rumus $\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60}$ yang dikutip dari Sabtono, dkk (2018). Setelah diperoleh data dari daya dan kecepatan sudut maka proses berikutnya adalah melakukan perhitungan torsi dengan menggunakan rumus $T = \frac{P}{\omega}$ yang dikutip dari Hidayat (2020:13).



Gambar 1. Pengukuran Kecepatan dan Suhu



Gambar 2 Pengukuran Tegangan dan Arus

Setelah melakukan proses pengambilan data tahap selanjutnya adalah proses analisis data. Berdasarkan dengan variabel penelitian yang telah ditentukan maka jenis analisis data yang digunakan adalah analisis varian dengan menggunakan metode one-way anova. One-

way anova adalah salah satu jenis dari analisis varian yang digunakan untuk menguji perbedaan antara dua atau lebih kelompok yang hanya terdapat satu faktor (Mukhadis, A. 2002:31). Dalam penggunaan one-way anova dalam pengujian hipotesis harus memenuhi dua persyaratan yaitu uji normalitas dan uji homogenitas (Sugiyono 2016:335). Untuk uji normalitas menggunakan jenis Shapiro wilk dikarenakan data yang diolah tidak lebih dari 50 sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan proses pengujian kecepatan dan torsi pada motor DC power window Toyota Avanza data yang telah didapatkan perlu untuk dijabarkan secara deskriptif dan tabel yang selanjutnya akan dilakukan analisis agar mendapatkan jawaban dari tujuan dari penelitian ini. Proses pengambilan data kecepatan dengan cara menembakkan sinar inframerah tachometer pada output motor DC. Setelah melakukan proses pengambilan data kecepatan data yang telah didapatkan dari motor DC power window dimasukkan pada tabel pengambilan data kecepatan. Selain mengamati kecepatan yang dihasilkan oleh motor DC pada tahap ini juga mengamati berapakah suhu yang ditimbulkan pada motor DC menggunakan thermo gun. Dengan mengamati suhu maka akan didapatkan hasil pada suhu berapakah motor DC power window mengalami penurunan performa dan menunjukkan lilitan mana yang memiliki suhu paling tinggi. Dari pengamatan kecepatan dan suhu akan dapat disimpulkan motor DC manakah yang memiliki performa lebih baik. Berikut ini adalah data yang didapatkan dalam proses pengambilan data kecepatan dan suhu.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kecepatan dan Suhu

Waktu	Kecepatan Motor DC (Rpm)					
	Standar		Lap Winding		Wave Winding	
	RPM	°C	RPM	°C	RPM	°C
Mulai	7657	33,3	6777	33,3	7999	33,3
5 Menit	7684	36,6	6832	36,9	8314	35,3
10 Menit	8098	40,7	6842	39,8	8440	37,9
15 Menit	7739	43,3	6758	42,6	8463	39,8
Rata-Rata	7794,5	38,475	6802,25	38,15	8304	36,575

Dari hasil pengujian kecepatan didapatkan bahwa kecepatan tertinggi

didapatkan oleh wave winding dengan kecepatan maksimal sebesar 8564 RPM, dan untuk kecepatan terendah didapatkan oleh lap winding dengan 6754 RPM, sedangkan untuk lilitan standar memiliki kecepatan terendah 7657 RPM. Dari data diatas juga bisa dilihat bahwa wave winding memiliki kecepatan yang cenderung meningkat di dibandingkan dengan lilitan standar dan lap winding. Dari hasil pengukuran suhu pada wave winding juga memiliki suhu yang cenderung dingin dengan maksimal suhu 39,8 oC dalam pengujian 15 menit.

Setelah mengetahui hasil dari pengujian torsi maka tahap selanjutnya adalah perhitungan torsi. Dalam menghitung torsi maka harus mengetahui nilai dari daya yang digunakan. Semakin besar daya yang digunakan maka akan semakin besar torsi yang dihasilkan. Dalam pengambilan data torsi dilakukan dengan tanpa beban sehingga semakin lama pengujian torsi yang dihasilkan harus semakin rendah. Berikut ini adalah data yang didapatkan dalam proses perhitungan daya pada setiap variasi lilitan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Daya

Waktu	Daya Motor DC (Watt) $P = V \cdot I$		
	Standar	Lap Winding	Wave Winding
Mulai	8,34	7,74	10,02
5 Menit	6,48	6,39	7,13
10 Menit	6,77	6,62	6,49
15 Menit	6,16	6,12	6,19
Rata-Rata	6,94	6,71	7,46

Dari hasil pengujian daya diatas didapatkan hasil bahwa penggunaan rata-rata daya terbesar dimiliki oleh wave winding dengan 7,46 Watt, sedangkan untuk rata-rata daya terendah dimiliki oleh lap wading dengan hasil 6,71 Watt, dan rata-rat hasil daya dari lilitan standar hampir mirip dengan lap winding yaitu 6,94 Watt. Dari hasil ini maka wave winding dapat mengalirkan arus lebih baik dibandingkan dengan lilitan standar dan lap winding. Setelah mengetahui nilai dari daya maka tahap selanjutnya adalah mengolah data kecepatan sudut menggunakan rumus $\omega = (2\pi \cdot N)/60$ yang dikutip dari Sabtono, dkk (2018). Berikut ini adalah data kecepatan sudut yang didapatkan pada setiap variasi lilitan.

Tabel 3. Hasil Data Kecepatan Sudut

Waktu	Standar	Kecepatan Sudut (Rad/s) $\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60}$	
		Lap Winding	Wave Winding
Mulai	801,43	709,33	837,23
5 Menit	804,26	715,08	870,20
10 Menit	847,59	716,13	883,39
15 Menit	810,02	707,34	885,79
Rata-Rata	815,8243	711,968	862,152

Dari hasil kecepatan sudut berkesinambungan dengan hasil dari kecepatan RPM. dimana pada lilitan standar dan lap winding mengalami penurunan pada pengujian 10 menit menuju 15 menit. Sedangkan pada wave winding mengalami peningkatan pada setiap rentang waktu pengujian. Setelah mengetahui daya dan kecepatan sudut maka tahap selanjutnya adalah perhitungan torsi dengan menggunakan rumus $T = P/\omega$ yang dikutip dari Hidayat (2020:13). Berikut ini adalah data torsi yang diperoleh dari variasi lilitan motor DC power window Toyota Avanza.

Tabel 4. Hasil Data Torsi

Waktu	Standar	Torsi Motor (Nm) $T = \frac{P}{\omega}$	
		Lap Winding	Wave Winding
Mulai	0,01041	0,01091	0,01197
5 Menit	0,00805	0,00893	0,00820
10 Menit	0,00799	0,00924	0,00735
15 Menit	0,00760	0,00865	0,00699
Rata-Rata	0,00851	0,00943	0,00863

Dari uraian tabel 4 di atas menunjukkan bahwa hasil pengujian torsi pada lilitan standar, lap winding, dan wave winding tidak semua lilitan mengalami penurunan torsi. Pada lilitan standar dan wave winding memiliki hasil torsi yang selalu berkurang pada setiap pengujian. Berbeda dengan lilitan standar dan wave winding pada lilitan lap winding mengalami peningkatan torsi pada pengujian 5 menit menuju 10 menit tetapi setelah pengujian 10 menit menuju 15 menit torsi yang dihasilkan mengalami penurunan kembali. Torsi dari motor DC berbeda dengan torsi pada sepeda motor yang memanfaatkan perbandingan roda gigi untuk meningkatkan torsi, pada motor DC torsi didapatkan dari seberapa besar beban yang digunakan yang akan dapat memperlambat putaran dari motor DC. Pada kondisi tanpa

beban adalah keadaan torsi motor DC kecil dengan putaran maksimal.

Pengaruh Lap Winding dan Wave Winding Terhadap Kecepatan Motor Power Window Toyota Avanza

Berdasarkan dengan hasil pengujian kecepatan tahap selanjutnya adalah pengujian hipotesis menggunakan one-way anova. Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan uji normalitas. data dikatakan normal apabila jumlah data di atas dan di bawah rata-rata adalah sama (Sugiyono, 2016:297). Berikut ini adalah hasil uji normalitas dari kecepatan motor DC power window dengan menggunakan nilai signifikan $< \alpha (0,05)$.

Tabel 5. Uji Normalitas Kecepatan Motor DC Power Window

	Jenis Lilitan	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Kecepatan	Standar	0,772	4	0,061
	Lap Winding	0,884	4	0,355
	Wave Winding	0,844	4	0,206

Dari hasil tabel 5 di atas menunjukkan bahwa hasil uji normalitas dengan menggunakan metode Shapiro-Wilk terhadap kecepatan motor power window pada masing-masing kelompok menghasilkan nilai signifikan $> \alpha (0,05)$ yang berarti data berdistribusi normal sehingga dapat dilanjutkan pada pengujian homogenitas. Uji homogenitas varian adalah variasi hasil dari setiap variabel terikat pada variabel bebas selalu relatif sama. Nilai signifikansi yang digunakan adalah 0,05.

Tabel 6. Uji Homogenitas Kecepatan Motor DC Power Window

Lavene Statistic	df1	df2	Sig.
2.111	2	9	0,177

Hasil dari uji homogenitas menggunakan metode Lavene terhadap kecepatan motor power window menghasilkan nilai signifikansi signifikan $> \alpha (0,05)$ yang berarti data pada kecepatan motor power window merupakan data yang homogen dan dapat dilakukan pengujian selanjutnya yaitu ANOVA. Hipotesis pada penelitian ini dan

ketentuan dalam pengambilan keputusan uji ANOVA sebagai berikut:

- H1 = Ada pengaruh lap winding dan wave winding dengan kawat tembaga hellenic terhadap kecepatan motor power window Toyota Avanza
- H0 = Tidak ada pengaruh lap winding dan wave winding dengan kawat tembaga hellenic terhadap kecepatan motor power window Toyota Avanza

Dengan ketentuan:

- Jika signifikan $< \alpha$ (0,05), maka H0 ditolak.
- Jika signifikan $> \alpha$ (0,05), maka H0 diterima.

Tabel 7. Hasil Uji ANOVA Kecepatan Motor Power Window Toyota Avanza

	Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
Between Groups	4665871,167	2	2332935,583	78,265	0,000
Within Groups	268271,750	9	29807,972		
Total	4934142,17	11			

Berdasarkan dengan hasil dari tabel 7 hasil pengujian hipotesis menggunakan ANOVA diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,000 < \alpha$ (0,05), maka dapat disimpulkan bahwa H0 ditolak, dengan demikian terdapat pengaruh antara kecepatan motor DC power window menggunakan lilitan standar, lap winding, dan wave winding. Berdasarkan dengan hasil pengujian One Way Anova mendapatkan hasil perbedaan yang signifikan.

Pengaruh Lap Winding dan Wave Winding Terhadap Torsi Motor Power Window Toyota Avanza

Berdasarkan dengan hasil pengujian torsi tahap selanjutnya adalah pengujian hipotesis menggunakan one-way anova. Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan uji normalitas. data dikatakan normal apabila jumlah data di atas dan di bawah rata-rata adalah sama (Sugiyono, 2016:297). Berikut ini adalah hasil uji normalitas dari kecepatan motor DC power window dengan menggunakan nilai signifikan $< \alpha$ (0,05).

Tabel 8. Uji Normalitas Torsi Motor DC Power Window

Jenis Lilitan		Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Torsi	Standar	0,767	4	0,055
	Lap Winding	0,836	4	0,185
	Wave Winding	0,810	4	0,120

Dari hasil tabel 8 di atas menunjukkan bahwa hasil uji normalitas dengan menggunakan metode Shapiro-Wilk terhadap kecepatan motor power window pada masing-masing kelompok menghasilkan nilai signifikan $> \alpha$ (0,05) yang berarti data berdistribusi normal sehingga dapat dilanjutkan pada pengujian homogenitas. Uji homogenitas varian adalah variasi hasil dari setiap variabel terikat pada variabel bebas selalu relatif sama. Nilai signifikansi yang digunakan adalah 0,05.

Tabel 9. Uji Homogenitas Torsi Motor DC Power Window

Lavene Statistic	df1	df2	Sig.
1.292	2	9	0,321

Hasil dari uji homogenitas menggunakan metode Lavene terhadap kecepatan motor power window menghasilkan nilai signifikansi signifikan $> \alpha$ (0,05) yang berarti data pada kecepatan motor power window merupakan data yang homogen dan dapat dilakukan pengujian selanjutnya yaitu ANOVA. Hipotesis pada penelitian ini dan ketentuan dalam pengambilan keputusan uji ANOVA sebagai berikut:

- H1 = Ada pengaruh lap winding dan wave winding dengan kawat tembaga hellenic terhadap torsi motor power window Toyota Avanza
- H0 = Tidak ada pengaruh lap winding dan wave winding dengan kawat tembaga hellenic terhadap torsi motor power window Toyota Avanza

Dengan ketentuan:

- Jika signifikan $< \alpha$ (0,05), maka H0 ditolak.
- Jika signifikan $> \alpha$ (0,05), maka H0 diterima.

Tabel 10. Hasil Uji ANOVA Torsi Motor Power Window Toyota Avanza

	Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig
Between Groups	0,000	2	0,000	0,382	0,693
Within Groups	0,000	9	0,000		
Total	0,000	11			

Berdasarkan dengan hasil dari tabel 4.7 hasil pengujian hipotesis menggunakan ANOVA diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,000 > \alpha (0,05)$, maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, dengan demikian tidak terdapat pengaruh antara kecepatan motor DC power window menggunakan lilitan standar, lap winding, dan wave winding. Berdasarkan dengan hasil pengujian One Way Anova mendapatkan hasil tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

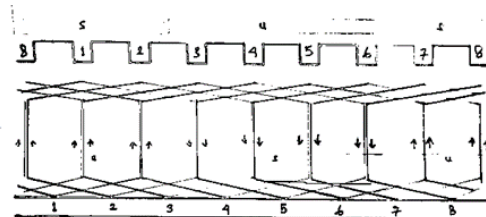
Pembahasan

Pada hasil pengujian kecepatan dan torsi memiliki hasil yang hampir sama baik itu pada lilitan standar, lap winding, dan wave winding. Pada hasil yang pertama adalah hasil dari pengujian kecepatan dimana pada tabel 1 hasil pengujian kecepatan dan suhu menunjukkan bahwa pada kecepatan awal dari setiap lilitan memiliki perbedaan cukup signifikan hal ini sesuai dengan hasil pengujian anova pada bab IV memiliki nilai signifikansi sebesar $0,000 < \alpha (0,05)$ maka H_0 ditolak yang berarti dari lilitan standar, lap winding, dan wave winding memiliki perbedaan yang signifikan. Dimana kecepatan awal pada wave winding dengan 7999 RPM pada suhu 33.3 oC memiliki nilai lebih tinggi. Untuk lilitan standar memiliki kecepatan awal 7657 RPM pada suhu 3,33 oC. Sedangkan untuk lap winding memiliki kecepatan awal yang lebih rendah yaitu 6777 RPM pada suhu 33,3 oC. Dengan demikian garis gaya magnet yang dibuat oleh wave winding lebih besar dibandingkan dengan lilitan standar dan lap winding.

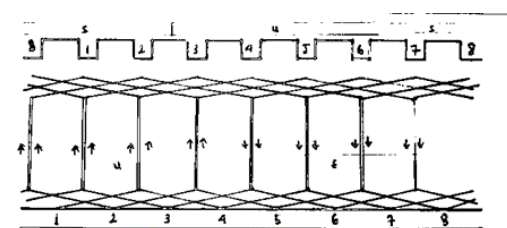
Pada tabel 1 juga menunjukkan bahwa peningkatan suhu juga berpengaruh pada hasil kecepatan dari motor DC dimana pada lilitan standar setelah mencapai suhu 40 oC pada pengujian 10 menit kecepatan turun dari 8098 RPM menjadi 7738 RPM pada pengujian 15

menit dan pada lap winding juga mengalami hal yang sama pada pengujian 10 menit sudah mencapai suhu 40 oC kecepatan turun dari 6842 RPM menjadi 6758 RPM pada pengujian 15 menit. Berbeda dengan lilitan standar dan lap winding pada wave winding setelah pengujian selama 15 menit suhu maksimal yang didapatkan adalah 39,8 oC sehingga kecepatan dari wave winding masih konstan mengalami peningkatan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Julianto, B & Supriyadi (2013) suhu pada sebuah kawat tembaga dapat mempengaruhi hambatan yang ada pada sebuah kawat tembaga. Semakin tinggi suhu maka akan mengakibatkan hambatan semakin meningkat. Dapat disimpulkan kenaikan suhu yang terjadi pada sebuah motor DC akan menyebabkan kinerja dari motor DC menurun.

Berdasarkan dengan hasil penelitian pada tabel 1 menunjukan hasil dari kecepatan yang dihasilkan oleh wave winding lebih tinggi dibandingkan dengan lilitan standar dan lap winding. Berdasarkan proses rewinding mendapatkan hasil bahwa perpotongan kemagnetan yang dihasilkan oleh lap winding dan wave winding berbeda. Pada lap winding menghasilkan kemagnetan pada komutator yang sesuai dengan arah kemagnetan yang ada pada field sedangkan pada wave winding terdapat dua segmen pembantu yang berfungsi untuk memulai reaksi kemagnetan sehingga terjadi putaran. Untuk mengetahui perpotongan yang terjadi pada kemagnetan lap winding dan wave winding bisa dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Kemagnetan Lap Winding



Gambar 4. Kemagnetan Wave Winding

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sarjan (2011) yang meneliti perbedaan karakteristik motor induksi wave winding dan centering winding menunjukkan bahwa wave winding yang dirangkai pada sebuah motor AC 3 fasa 380V memiliki karakteristik torsi dan kecepatan yang lebih baik dari motor yang dililit dengan centering winding. Sedangkan pada penelitian Dewi, Y. K., Hadi, W. & Bachri, M. S (2014) dengan judul rancang bangun kumparan stator motor induksi 1 fasa 4 kutub dengan metode kumparan jerat memiliki karakteristik kecepatan lebih baik dibandingkan dengan standar hal ini dengan catatan dikarenakan lap winding memiliki rangkaian seri maka harus menambahkan sikat ganda untuk menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi. Sesuai dengan pernyataan dari Wijaya, M. (2001:301-303) banyaknya kutub yang ada pada lap winding akan mempengaruhi banyaknya jalur arus paralel sedangkan pada jumlah jalur paralel pada wave winding adalah dua.

Setelah membahas tentang hasil dari kecepatan tahap selanjutnya adalah pembahasan mengenai hasil dari torsi. Berdasarkan dengan hasil penelitian pada tabel 2 menunjukkan bahwa daya rata-rata terbesar yang digunakan adalah pada lilitan wave winding dengan rata-rata daya sebesar 7,46 Watt. Pada lilitan standar dan lap winding memiliki rata-rata penggunaan daya yang hampir sama pada lilitan standar sebesar 6,94 Watt dan lap winding sebesar 6,71 Watt. Dalam proses pengujian 5 menit, 10 menit, dan 15 menit daya awal yang digunakan paling besar terdapat pada wave winding sebesar 10,02 Watt, sedangkan untuk lilitan standar 8,34 Watt dan lap winding 7,74 Watt. Dengan hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban konsumsi arus lebih besar terdapat pada wave winding sehingga untuk membangkitkan kemagnetan yang ada pada lilitan armature pada wave winding lebih mudah dibandingkan dengan standar dan lap winding.

Setelah mengetahui nilai dari daya dan rugi daya yang terjadi pada lilitan standar, lap winding, dan wave winding tahap selanjutnya dalam menentukan torsi adalah menghitung kecepatan sudut dari motor DC. Untuk menghitung kecepatan sudut menggunakan

rumus yang dikutip dari Sabtono, dkk (2018) yaitu $\omega = (2\pi \cdot N)/60$. Hasil dari kecepatan sudut selaras dengan hasil dari pengujian kecepatan RPM. Semakin tinggi kecepatan maka akan menghasilkan kecepatan sudut yang besar.

Hasil dari kecepatan sudut dari lilitan standar, lap winding, dan wave winding dibuktikan dengan hasil pada tabel 4.3 menunjukkan hasil dari kecepatan sudut dimana pada lilitan standar dan lap winding mengalami kenaikan dan penurunan. Sedangkan pada wave winding mengalami peningkatan pada setiap rentang waktu pengujian. Setelah mengetahui nilai dari daya dan kecepatan sudut tahap selanjutnya adalah perhitungan torsi dengan menggunakan rumus $T = P/\omega$ yang dikutip dari Hidayat (2020:13).

Dari hasil tabel 4 menunjukkan bahwa pada lilitan wave winding memiliki torsi awal yang lebih besar yaitu 0,01197 Nm sedangkan pada lilitan standar memiliki torsi sebesar 0,01041 Nm dan pada lap winding memiliki torsi yang hampir sama dengan lilitan standar yaitu 0,01091 Nm. Dengan hasil ini menunjukkan bahwa pada saat penggunaan awal kekuatan angkat dari wave winding akan lebih besar dibandingkan dengan lilitan standar dan lap winding. Kondisi ini yang diperlukan untuk power window berkerja. Torsi awal yang tinggi membuat kinerja dari power window juga semakin baik.

Dalam proses pengujian tanpa beban torsi yang dihasilkan harus seminimal mungkin sehingga akan menghasilkan kecepatan yang optimal. Dalam menghitung torsi perlu juga dilakukan perhitungan kuat kemagnetan sehingga dapat diketahui dengan torsi yang ada berapakah kemagnetan yang ditimbulkan oleh motor DC sehingga menghasilkan kecepatan yang optimal. dari Siswanto, dkk (2017:83) yaitu $B = (\mu_0 IN)/r$. Pada lilitan armature pada setiap variasi lilitan membentuk lingkaran dengan jari-jari 1,17 cm atau 175×10^{-4} m. berikut ini adalah hasil perhitungan torsi dari masing-masing lilitan.

Tabel 11. Kuat Kemagnetan Motor DC Power Window Toyota Avanza

Waktu	Kuat Kemagnetan (Wb/m ²)		
	Standar	Lap Winding	Wave Winding
Mulai	$370\pi \cdot 10^{-6}$	$344\pi \cdot 10^{-6}$	$445\pi \cdot 10^{-6}$
5 Menit	$288\pi \cdot 10^{-6}$	$284\pi \cdot 10^{-6}$	$317\pi \cdot 10^{-6}$
10 Menit	$301\pi \cdot 10^{-6}$	$294\pi \cdot 10^{-6}$	$288\pi \cdot 10^{-6}$
15 Menit	$273\pi \cdot 10^{-6}$	$273\pi \cdot 10^{-6}$	$275\pi \cdot 10^{-6}$
Mulai	$370\pi \cdot 10^{-6}$	$344\pi \cdot 10^{-6}$	$445\pi \cdot 10^{-6}$

Dengan hasil ini menunjukkan bahwa hasil dari kuat kemagnetan ternyata selaras dengan perhitungan daya jika daya yang digunakan meningkat maka kuat kemagnetan juga akan meningkat sebaliknya jika daya menurun maka kuat kemagnetan juga akan menurun. Dari hasil diatas menunjukkan bahwa kuat kemagnetan yang terjadi pada armature mempengaruhi hasil dari torsi motor DC. Semakin besar kemagnetan yang terjadi pada armature maka akan menghasilkan torsi yang besar.

Mengamati dari hasil dari pengujian torsi meski wave winding memiliki efisiensi terhadap daya yang digunakan tetapi memiliki hasil torsi yang tidak signifikan dimana rentang antara lilitan standar, lap winding, dan wave winding tidak sampai 0,01 Nm. Hal ini sesuai dengan hasil uji hipotesis menggunakan one-way anova mendapatkan hasil sebesar $0,693 > \alpha (0,05)$, maka dapat disimpulkan bahwa H0 diterima dengan demikian meski wave winding memiliki torsi awal yang besar dan cenderung turun tidak terdapat perbedaan yang signifikan dengan lilitan standar dan lap winding.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan dengan rumusan masalah, data hasil penelitian kecepatan dan torsi motor power window Toyota Avanza, dan pembahasan dari data hasil penelitian yang telah di paparkan pada BAB V, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: 1) Berdasarkan hasil pengujian kecepatan memiliki hasil perbedaan yang signifikan dari lap winding dan wave winding dengan kawat tembaga hellenic. Hasil pengukuran kecepatan lap winding memiliki hasil kecepatan yang paling rendah dengan rata-rata kecepatan 6802,25 RPM. Sedangkan pada lilitan standar memiliki rata-rata kecepatan 7794,5 RPM dan untuk wave

winding memiliki rata-rata kecepatan paling tinggi yaitu 8304 RPM. Berdasarkan dengan hasil ini membuktikan bahwa garis gaya listrik yang dibentuk dari wave winding lebih baik dari lilitan standar dan lap winding. 2) Berdasarkan hasil pengujian torsi memiliki perbedaan yang tidak signifikan dari *lap winding* dan *wave winding* dengan kawat tembaga *hellenic*. Hal ini bisa terjadi karena beban yang ditopang motor DC hanya poros output dan *armature* untuk menampung lilitan. Berdasarkan dengan hasil pengujian meskipun tidak memiliki hasil signifikan tetapi pada saat pengujian awal tanpa beban *wave winding* memiliki torsi awal yang lebih besar yaitu 0,01197 Nm pada lilitan standar memiliki torsi sebesar 0,01041 Nm dan pada *lap winding* memiliki torsi yang hampir sama dengan lilitan standar yaitu 0,01091. Dengan hasil ini membuktikan bahwa *wave winding* memiliki torsi awal yang tinggi hal ini sangat diperlukan karena digunakan untuk memulai reaksi awal pada saat mengangkat sebuah beban. 3) Berdasarkan hasil pengujian suhu yang dihasilkan oleh *wave winding* lebih rendah dengan hasil maksimal suhu 39,8 °C, sedangkan untuk lilitan standar memiliki suhu paling tinggi yaitu 43,3 °C, dan untuk *lap winding* memiliki suhu maksimal sebesar 42,6 °C. Dari hasil suhu ini dapat disimpulkan bahwa *wave winding* memiliki efisiensi dalam peredaman panas karena lilitan yang tidak bertumpuk secara langsung.

Saran

Berdasarkan dengan kesimpulan dari hasil penelitian pengaruh lap winding dan wave winding dengan kawat tembaga hellenic terhadap kecepatan dan torsi motor power window Toyota Avanza, maka penulis memberikan saran kepada masyarakat sebagai berikut: 1) Bagi praktisi: dengan seiring lamanya penggunaan dari motor *power window* akan menyebabkan menurunnya performa yang menyebabkan motor *power window* menjadi berat dan bahkan tidak kuat lagi untuk mangkat kaca. Dengan adanya penelitian ini dapat digunakan untuk mengembalikan performa motor *power window* dengan mengakan lilitan yang sesuai. Dengan adanya penelitian ini praktisi dapat mengetahui kelebihan dan kekurangan yang ada pada variasi jenis lilitan yang akan digunakan sehingga menambah kepercayaan dari

pelanggan. 2) Bagi peneliti selanjutnya: a) - Pada penelitian ini hanya melakukan pengujian pada lilitan standar, lap winding, dan wave winding terhadap kecepatan dan torsi motor power window Toyota Avanza. Untuk penelitian lebih lanjut dapat ditambahkan variasi lilitan dengan frog leg winding yang masih jarang digunakan pada motor DC dengan waktu pengujian lebih lama. b) Pada penelitian proses pengujian torsi masih dilakukan dengan tanpa beban sehingga memperoleh pengaruh yang tidak signifikan dari lilitan lap winding dan wave winding sehingga dapat dilakukan pengujian dengan beban dengan memperhatikan berat kaca yang ada pada kendaraan. c) Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk bahan kajian lebih mendalam untuk keperluan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan lilitan lap winding dan wave winding.

Hablinur Al Khindi. 2018. Analisa Daya dan Kontrol Kecepatan Motor Pada Alat Bantu Las Rotary Positioner Table. *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 4(1): 23.

Wijaya, M. 2001. *Dasar-Dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Djambatan.

DAFTAR RUJUKAN

- Agustina, S., & Nugroho, N. 2015. Analisa Motor DC (Direct Current) Sebagai Penggerak Mobil Listrik. *Jurnal Mikrotiga*, 2 (3): 28–34.
- Bagia, I. N., & Parsa, I. M. 2018. *Motor-Motor Listrik*. Kupang: CV. Rasi Terbit.
- Dewi, Y. K., Hadi, W. & Bachri, M. S. 2014. *Rancang Bangun Kumputan Stator Motor Induksi 1 Fasa 4 Kutub Dengan Metode Kumputan Jerat*. Repositoru.unej.ac.id
- Hidayat, M. F. A. 2020. *Unjuk Kerja Motor Brushless Direct Current Axial Flux 3 Fasa Stator Ganda terhadap Perbedaan Jenis Kawat Enamel Pada Lilitan Stator*. Jember: repository.unej.ac.id.
- Iftadi, I. 2015. *Kelistrikan Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mukhadis, A. 2002. *Prosedur Praktis Analisis Varian dan Analisis Post Hoc Penelitian Eksperimental Dalam Bidang Pembelajaran dan Penelitian*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Parhan, N. 2013. *Teknik Listrik*. Malang: VEDC Malang.
- Prawoto, Y. & Yusof, M. A. 2013. *Automotive Power Window Mechanism Failure Initiated by Overload*. *Engineering Failure Analysis*, 31: 179–188.
- Saptono, Hery, Gatot Eka Pramono, and