Jurnal Mahasiswa Institut Teknologi Telkom Surabaya
Fakultas Teknologi Elektro dan Industri Cerdas

MODIFIKASI MOTOR BLDC UNTUK CAPAIAN TORSI BESAR DENGAN DIMENSI KECIL PADA ROBOT REHABLITASI PASCA STROKE

Reza Humaidi

Rezatok65@gmail.com
* Correspondence: e-mail@e-mail.com;

Abstrak: Stroke merupakan kondisi terjadinya penyumbatan atau terganggunya aliran darah ke otak yang menyebabkan lemas atau mati rasa pada bagian tubuh yang lain. Stroke bisa diobati dengan beberapa cara salah satunya rehabilitasi. Banyak proses rehabilitasi dengan menggunakan alat rehab diantaranya ankle foot orthosis (AFO), AFO juga dikembangkan dengan penambahan actuator sebagai alat bantu gerak pada robot AFO. Actuator yang dibutuhkan pada robot AFO memiliki spesifikasi torsi besar dengan dimensi kecil karena dapat memudahkan pasien rehabilitasi dalam menggunakan alat tersebut. Namun actuator dengan torsi besar dan dimensi kecil ada pada motor listrik, yang dimana motor listrik dengan dimensi kecil yang memiliki torsi besar buatan dalam negeri belum ada yang memproduksi. Sehingga tugas akhir ini mengusulkan pengembangan pengembangan motor BLDC BM 5010-360Kv dengan beberapa alur, dengan Langkah awal yaitu menghitung komponen utama pada motor BLDC, kemudian dilanjutkan memodifikasi motor BLDC, dan terakhir memvalidasi motor dengan menguji motor yang belum dengan yang sudah dimodifikasi. Pengujian pada penelitian ini melakukan perbandingan 4 motor BLDC yaitu; motor pabrikan, motor stator baru, motor rotor baru, dan motor stator rotor baru. Dari hasil uji putar motor dengan rotor baru tidak bisa berputar dikarenakan kuat Tarik magnet yang berbeda dengan rotor yang lama, sehingga data yang didapatkan pada penelitian ini motor stator baru memiliki daya yang lebih kecil dari pada motor pabrikan yaitu 7,68 watt sedangkan motor pabrikan nilai dayanya 27 watt dengan menggunakan beban yang sama yaitu 50,5 gram. Jadi motor dengan stator baru dengan daya yang lebih kecil dapat berbutar dengan beban yang sama dibandingkan dengan motor pabrikan.

Kata Kunci: Motor BLDC; Rehabilitasi; Motor

MODIFICATION OF BLDC MOTOR FOR LARGE TORQUE ACHIEVMENT WITH SMALL DIMENSIONS ON POST STROKE REHABILITATION ROBOTS

Abstract: Stroke is a condition where there is a blockage or disruption of blood flow to the brain which causes weakness or numbness in other parts of the body. Stroke can be treated in several ways, one of which is rehabilitation. Many rehabilitation processes use rehab tools including ankle foot orthosis (AFO), AFO is also developed with the addition of an actuator as a tool for movement on the AFO robot. The actuator required for the AFO robot has a large torque specification with small dimensions because it makes it easier for rehabilitation patients to use the tool. However, actuators with large torque and small dimensions exist in electric motors, where electric motors with small dimensions that have large torque made in the country have not yet been produced. So that this final project proposes the development of a BM 5010-360Kv BLDC motor with several grooves, with the initial step that is calculating the main components of the BLDC motor, then continuing to modify the BLDC motor, and finally validating the motor by testing the motor that has not been modified. Tests in this study made a comparison of 4 BLDC motors, namely; factory motors, new stator motors, new rotor motors, and new stator rotor motors. From the results of the rotary test the motor with the new rotor cannot rotate due to the magnetic tensile strength which is different from the old rotor, so the data obtained in this study the new stator motor has less power than the manufacturer's motor, which is 7.68 watts, while the factory motor's value the power is 27 watts using the same load of 50.5 grams. So a motor with a new stator with less power can spin under the same load compared to the factory motor.

Keywords: BLDC Motors; Rehabilitation; Motor

1. Pendahuluan

Stroke merupakan kondisi dimana terjadi penyumbatan atau terganggunya aliran darah ke otak yang dapat menyebabkan diantaranya lemas atau mati rasa pada bagian tubuh yang lain. Selian itu stroke juga merupakan demensia da depresi [1]. Dalam dunia Kesehatan pasien stroke dapat diobati dengan beberapa cara salah satunya yaitu rehabilitasi. Rehabilitasi stroke sendiri merupakan suatu kegiatan dalam pemulihan yang membantu pasien dalam mempelajari Kembali segala keterampilannya yang sebelumnya hilang akibat mengalami stroke. Di zaman ini proses rehabilitasi menggunakan alat rehab diantaranya ankle foot orthosis (AFO) yang biasanya digunakan untuk menahan posisi pergelanagan kaki yang lemah karena kelenturan atau penurunan kekuatan kaki yang hilang. Kini AFO dikembangkan dengan menambah fungsi dari AFO berbantuan robot menunjukkan bantuan daya pada sendi pergelangan kaki dapatmemfasilitasi berjalannya pasien yang mengalami foot drop, dengan secara aktif membantu dorsifleksi pergelangan kaki pada fase mengayun dan meminimalkan terjadinya *foot slap* pada kontak awal [2]. Robot AFO merupakan suatu alat yang memberikan bantuan kepada pasien rehabilitasi tanpa membatasi Gerakan pasien. Produk robot AFO sulit ditemukan di Indonesia karena minimnya produsen alata Kesehatan elektro biomedis. Pengembangan robot AFO juga menggunakan actuator sebagai penggerak untuk menggantikan Gerakan pasien. Bebrapa jenis actuator yang digunakan pada robot AFO seperti motor listrik, pneumatic, perangkat magnetronical, solenoida, dan pegas mengontrol kiprah, baik dengan membangkitkan Gerakan AFO aktif dan AFO pasif [2]. Salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan saat ini adalah motor BLDC. Motor listrik ini popular karena sering digunakan pada banyak bidang industry misalnya; otomotif, dirgantara, konsumen, medis, otomasi industry peralatan dan instrumentasi [3]. Motor

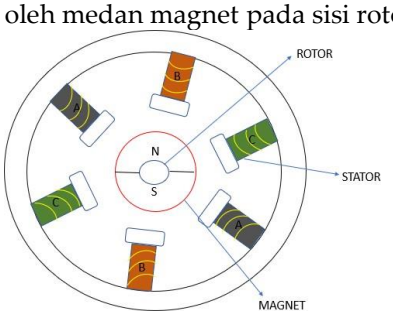
BLDC memiliki kelebihan masa torsi besar, serta kebisingan yang rendah. Karena pada robot AFO yang dibutuhkan harus memiliki torsi yang besardan dimensi kecil, maka dari itu motor BLDC direkomendasikan pada robot AFO. Motor BLDC dengan spesifikasi tersebut sulit ditemukan di marketplace Indonesia. Oleh sebab itu, tugas akhir ini mengusulkan Modifikasi motor BLDC sebagai aktuator pada robot AFO. Modifikasi Motor BLDC dilakukan mulai dari studi literatur, simulasi desain sampai pembuatan prototype motor BLDC.

2. Tinjauan Pustaka

Salah satu robot yang digunakan oleh pasien pasca stroke yaitu soft robotic ankle fooy orthosis (SR-AFO) yang dibuat oleh charlt, M. thalman dan kawan-kawan. robot tersebut menggunakan aktutor penuematic deengan menyesusaikan bentuk kaki. Namun SR-AFO tidak dapat mengatur gait pasien. Sehingga robot AFO dikembangkan lagi oleh ling-fung yeung, dan kawan-kawan dengan nama robot-assisted ankle foot orthosis yang dengan menggunakan motor listrik seerta dilengkapi dengan accelerometer dan gyroscope. Dari dua artikel yang dikumulkan , robot AFO dengan menggunakan actuator motor listrik lebih efisiensi dari pada robot afo ddengan actuator yang lain. Robot AFO dengan actuator motor listrik dapat membantu pasien rehabilitasi berlatih dorsifleksi dan plantarfleksi.

2.1 Motor BLDC

Motor Brushless DC (BLDC) adalah motor DC tanpa sikat (brush) merupakan motor magnet permanen tiga fase yang membutuhkan sumber tegangan DC, menggunakan bahan semikonduktor untuk mengubah arah putarannya dalam menggerakkan motor. Motor BLDC (Brushless DC), stator terdiri dari kumparan sedangkan pada rotor terdiri dari magnet permanen. Penggunaan motor jenis ini menjadi popular beberapa tahun terakhir karena torsi yang tinggi dan lebih efisien dari pada motor yang lain. Prinsip kerja motor BLDC dimulai dengan bagian rotor dapat berputar karena lilitan pada stator bergantian dialiri arus listrik secara berurutan dan berputarsehingga terbentuk medan magnet yang berputar yang diikuti oleh medan magnet pada sisi rotor .



Gambar 1 Bagian Pada Motor BLDC

2.2 Stator

Stator adalah bagian motor yang diam dan mempunyai kumparan yang menginduksi medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya. Pada stator terdapat susunan kawat yang dimasukkan kedalam alur untuk menerima belitan stator dari motor akan membawa belitan menurut jenis motornya misalkan motor satu fasa, maka statornya akan membawa belitan satu fasa, di mana diumpan dari penyedia tegangan satu fasa sedangkan untuk motor jenis tiga fasa, maka statornya akan membawa belitan tiga fasa yang diumpan dengan penyedia tegangan tiga fasa [4]. Stator adalah tempat lilitan kawat yang ada pada motor BLDC

2.3 Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor [4]. Pada motor listrik, panjang magnet dan tinggi magnet mempengaruhi tegangan induksi yang dihasilkan. Semakin panjang dan tinggi magnet, semakin besar tegangan, torsi, dan efisiensi motor.

2.4 Motor BLDC BM 5010-360KV

Motor BLDC BM 5010-360 KV adalah motor buatan pabrik yang memiliki kelebihan sebagai berikut ;

1. Memiliki rang depan dengan bahan alumunium dan ada empat lubang pendingin model kipas yang memompa udara melalui motor saat dijalankan.
2. Memiliki magnet NdFeB yang dirancang khusus dengan peringkat suhu tinggi untuk operasi bebas masalah.
3. Kawat dengan suhu tinggi 140 C (356 F) digunakan untuk motor meminimalkan kebakaran pada motor.

Gambar 2 Motor BLDC BM 5010-360KV

Motor ini memiliki spesifikasi sebagai berikut

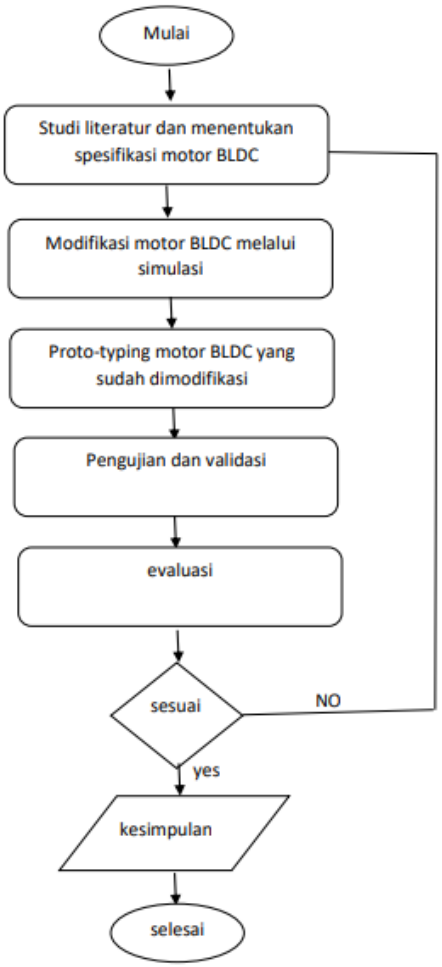
1. Ukuran motor 50*10 mm
2. Ukuran poros 4 mm
3. KV (rpm/v) 360
4. Kabel 40 cm

2.2 Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya [5]. Torsi yang dibutuhkan pada robot rehabilitasi, torsi yang tinggi karena robot rehabilitasi yang digunakan diharapkan bisa mengangkat beban kaki manusia, namun pada robot rehabilitasi meskipun membutuhkan torsi yang tinggi rpm yang dibutuhka pada robot rehabilitasi rendah agar persendian pada manusia tidak terganggu kecepatan putarnya.

3. Metode dan Pemodelan

Pada tugas akhir ini yang dilakukan untuk memmperoleh hasil dan data dari penelitian yang sesuai maka akan dilakukan beberapa proses, adapun proses dari penelitian ini;



Gambar 3 Blok Diagram Penelitian

Pada penelitian ini diawali studi literatur dengan mengumpulkan hasil penelitian sebelumnya dengan topik yang sama dari jurnal atau buku untuk mengetahui karakteristik, Setelah studi literatur dilanjutkan dengan menentukan spesifikasi motor BLDC. Dalam menentukan spesifikasi motor BLDC yang diinginkan, maka perlu dilihat untuk apa motor BLDC tersebut akan digunakan. Dalam hal ini, motor BLDC akan digunakan sebagai actuator pada robot rehabilitasi engkel. Pada robot rehabilitasi engkel, motor BLDC harus mampu, setidaknya untuk mengangkat kaki pengguna. Studi literatur menunjukkan massa kaki adalah 1,45% dari massa tubuh manusia [6]. Dengan asumsi massa orang Indonesia pada umumnya adalah 60 Kg , dan panjang kaki orang indonesia adalah 0,1745 m [7], maka massa kaki yang perlu diangkat adalah 0,72 $\boldsymbol{kg\ m^2/s}$. Jadi torsi yang dibutuhkan untuk mengangkat kaki pasien yaitu 0,72 Nm. Untuk lebih kuat maka torsi dibulatkan menjadi 1 Nm. Selain torsi yang tinggi robot rehabilitasi membutuhkan motor yang berdimensi kecil.persamaan dalam menentukan torsi sebagai berikut;

$$\tau = m \times g \times r \tag{1.1}$$
$$= \mathbf{0,0145 \times 60 \times 10 \times 0,475 \times 0,1745}$$
$$= \mathbf{0,72\ kg\ m^2/s}$$

Keterangan:

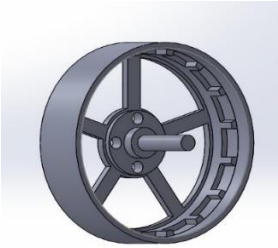
m = 0,0145 × massa tubuh

g = 10 $\boldsymbol{m/s^2}$

r = 0,0475 × Panjang kaki

pasien reahbilitasi membutuhkan alat bantu dikarenakan alat bantu juga memiliki massa besar yang bisa menambahkan massa pada kaki manusai maka dimesnsi kecil motor BLDC pada robot rehabilitsi berpengaruh pada pergerakan engkel pasien. Sehingga tidak mengganggu mobilitas Gerakan pasien tanpa harus menghilangkan kekuatan [8]. Jadi spesifikasi yang diinginkan pada robot rehabilitasi kali ini adalah torsi yang mencapai 1 Nm dengan dimensi yang kecil.

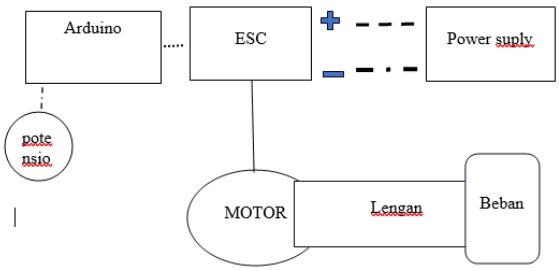
Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan diatas dilanjutkan modifikasi dengan mensimulasi spesifikasi motor BLDC sesuai keinginan dengan menggunakan software Ansysmotorcad, yang dimana dari hasil simulasi akan didapatkan capaian torsi yang akan didapatkan pada motor BLDC. Dalam modifikasi motor BLDC meliputi jumlah lillitan dan jumlah magnet, stator yang digunakan tidak berubah yaitu stator motor BLDC BM5010-360 KV. Dilanjutkan modifikasi rotor, karena ada penambahan jumlah pole magnet maka rotor akan Digambar ulang menggunakan software solidwork seperti pada gambar 3.2



Gambar 4 Gambar rotor

gambar 3.2 nantinya akan di protyping dengan dicetak menggunakan jasa CNC. Prototyping juga meliputi lilit ulang pada stator dimana jumlah lilitan disesuaikan dengan hasil simulasi yang telah dilakukan. Lilitan pada motor ini nantinya akan dihubungkan dengan menggunakan konfigurasi star.

Setelah proses prototyping selesai maka dilakukan pengujian dan validasi pada motor yang sudah dimodifikasi. Pengujian dilakukan dengan membandingkan peforma motor BLDC yang sudah dimodifikasi dengan yang belum dimodifikasi. Skema pengujian dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 5 Skema Pengujian

Setelah data yang diperlukan sudah diketahui maka untuk mencari momen inersia pada pengujian menggunakan persamaan berikut

$$i = m \times r \tag{2.1}$$

Dimana;

i = momen inersia

m = massa beban

r = Panjang lengan

motor yang sudah diuji akan di evaluasi membandingkan daya pada motor, evaluasi dilakukan Ketika data yang diambil pada saat pengujian 4 motor BLDC untuk mengetahuipeforma motor yang sudah dimodifikasi degan yang belum dimodifikasi.

4. Hasil dan Analisa

Hasil dana analisa meliputi beberapa hasil diantaranya hasil simulasi, hasil implementasi dan hasil hitung momen inersia.

4.1. Hasil simulasi

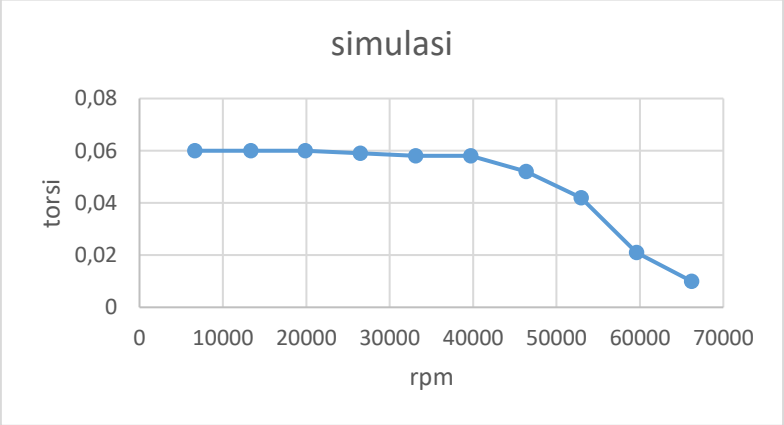
Pada hasil simulasi terdapat beberapa percobaan yang disimulasikan dimulai dari diameter 5 sampai dengan diameter 10 untuk menghasilkan 1 N/m. dengan memvariasikan jumlah pole stator, jumlah pole rotor, dan beberapa winding lainnya. Seperti tabel 4.1

Tabel 1 Hasil simulasi

Diameter (cm)	Jumlah stator	Lilitan	Turns	Jumlah magnet	Peak torque
5	12	34	1	14	0,014
5	12	34	2	14	0,028
5	12	34	2	16	0,06
5	12	34	2	18	not feisible
6	12	34	2	14	0,03
6	12	34	2	16	0,065
6	12	40	3	16	0,1
6	12	40	3	18	not feisible
7	12	40	3	14	0,044
7	12	45	3	16	0,101
7	12	45	3	18	not feisible
8	18	52	3	28	0,54
8	18	39	4	30	0,67
8	18	39	4	32	0,48
9	18	71	3	26	0,56
9	18	54	4	28	0,77
9	18	54	5	26	0,95
10	18	68	4	26	0,77
10	18	68	4	28	0,8
10	18	54	5	28	1

Dalam simulasi mencoba beberapa dimensi dimulai dari diameter 5 cm sampai dengan diameter 10 cm untuk mencapai peak torsi 1Nm. Pada simulasi menggunakan diameter 5 torsi yang dicapai tidak sampai dengan 1 Nm, sehingga pada simulasi ini menambahkan diameter yang bisa menambah jumlah stator serta jumlah magnet pada rotor .sehingga diameter yang besar bisa memperbanyak stator yang ada di motor dan slot jumlah magnet yang ada pada rotor motor.

namun yang memungkinkan untuk dimodifikasi yaitu dengan diameter 5 jumlah stator 12, jumlah magnet 16 dengan lilitan 34 dan turn kawat 2 karena pada simulasi ini dimesnsi dari motor tidak berubah dari dimensi motor sebelumnya. Dilihat pada gambar 4.1 peak torsi yang dicapai dengan demensi tersebut mencapai 0,06 Nm.



Gambar 6 Hasil Simulasi

4.2. implementasi

Untuk tahap implementasi telah dibuat stator baru dengan stator 12 dan pole rotor 16 sehingga pada pengujian kali ini ada perbandingan dengan empat kondisi motor BLDC yaitu;

Tabel 2 Hasil Putar Motor

No.	Motor	Jumlah Stator	Jumlah Rotor	Lilitan	Ukuran Kawat	Berputar
1	pabrikan	12	14	34	0,5	iya
2	stator baru	12	14	54	0,4	iya
3	rotor baru	12	16	34	0,5	tidak
4	stator dan rotor baru	12	16	54	0,4	tidak

Pada hasil uji putar motor, ada 2 motor yang tidak bisa berputar dikarenakan kuat tarik magnet yang digunakan pada rotor baru kurang sehingga rotor tidak bisa berputar.motor yang tidak bisa berputar yaitu motor no. 3 dan 4. Dari hasil uji putar motor pada dua motor yang bisa berputar memperoleh data rpm, arus, dan daya yang diperoleh pada putaran motor yang dirancang dengan penambahan beban. Maka didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 3 Hasil Pengujian Motor Stator Baru

Beban (gr)	rpm	Arus	Volt	Daya
5,5	925.4	0.21	12	2,52
20,5	771.2	0.36	12	4,32
35,5	680.7	0.43	12	5,16
50,5	622,2	0.64	12	7,68

Tabel 3 menunjukan bahwa pengujian motor BLDC menghasilkan torsi akan meningkat seiring bertambahnya beban pada rpm motor. Hal ini dikarenakan rpm berkurang seiring bertambahnya beban pada motor dan menghasilkan arus yang besar.

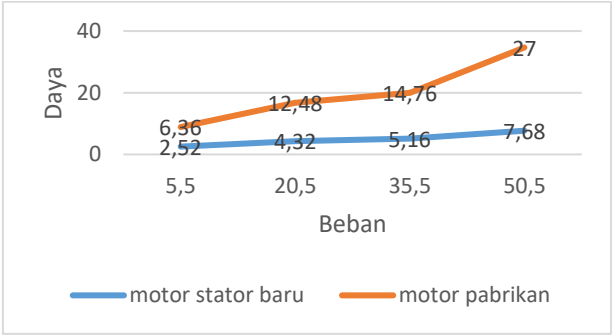
Tabel 4 Hasil Pengujian Motor Pabrikan

Beban (gr)	rpm	Arus	Volt	Daya
5,5	677.1	0.53	12	6,36
20,5	590,3	1,04	12	12,48
35,5	380.5	1.23	12	14,76
50,5	180,8	2,25	12	27

Pada tabel 4 menujukan bahwa hasil pengujian rpm akan semakin rendah dengan bertambahnya beban pada motor. Sehingga hal ini berpengaruh pada torsi yang didapat dimana torsi semakin besar dengan bertambahnya beban pada motor BLDC. Pengujian motor ini juga menggunakan PWM 100.

Dari dua pengujian motor diatas, dengan beban yang sama yaitu 5,5 motor stator baru mendapatkan daya 2,52 watt dimana daya tersebut lebih kecil dari daya yang didapatkan oleh motor pabrikan dengan hasil daya 6,36 watt.

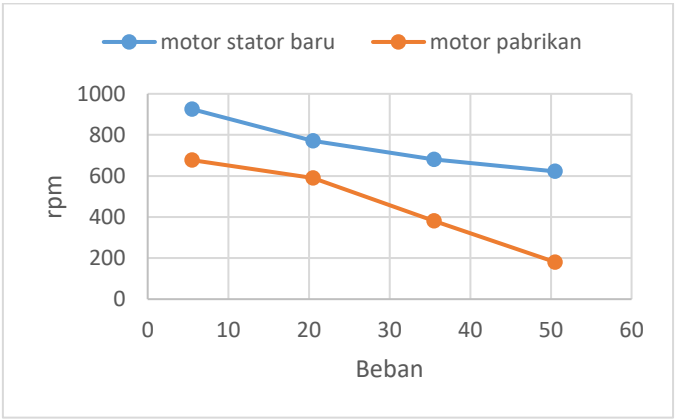
1. Perbandingan daya pada motor BLDC dengan diberikan beban



Gambar 7 Grafik Perbandingan Daya motor stator baru dengan motor pabrikan

Pada gambar 6 daya vs beban menunjukan bahwa motor BLDC dengan stator baru hasil daya yang dihasilkan lebih kecil yaitu 7,68 watt dibandingkan motor paabrikan dengan nilai 27 watt dengan menggunakan beban 50,5 gram. Hal ini dikarenakan arus pada motor statur baru lebih kecil dibanding motor pabrikan. motor dengan stator yang baru dapat berputar dengan beban yang sama namun daya yang dihasilkan lebih kecil dari pada motor pabrikan.

2. Perbandingan rpm pada motor BLDC dengan diberikan beban



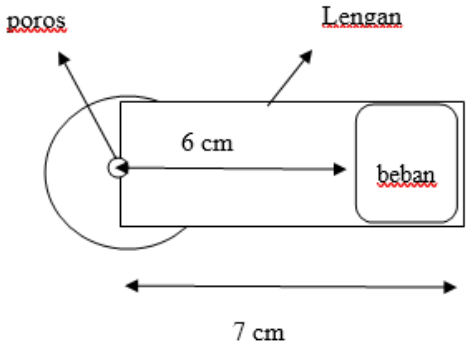
Gambar 8 Grafik Perbandingan rpm Motor Stator baru dengan Motor Pabrikan

Pada gambar 7 Grafik perbandingan rpm terhadap beban yang dihasilkan pada motor BLDC kekuatan kecepatannya menurun seiring bertambahnya beban pada masing-masing motor, namun motor stator baru nilai rpmnya lebih tinggi dibandingkan dengan motor pabrikan Ketika diberikan

beban mulai dari 5,5 sampai dengan 50,5 yaitu motor stator baru mencapai 925,4 sedangakn motor pabrikan 677,1.

3. Perhitungan inersia pada pengujian

Momen inersia addalah ukuran kelembaban suatu benda untuk berotasi terhadadp porosnya. Secara matematis momen inersia merupakan hasil kali massa beban dengan kuadrat jarak terhadap sumbu putarnya. Perhitungan inersia pada pengujian ini menggunakan persamaan momen inersia. ilustrasi momen inersia dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 9 Ilustrasi Momen Inersia

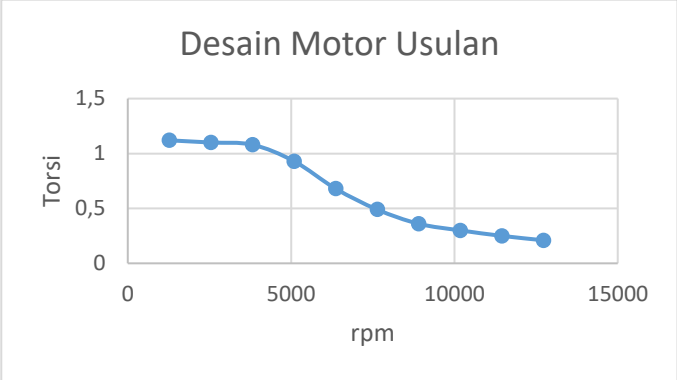
Gambar 8 menunjukan ilustrasi momen inersa pada pengujian ini dimana Panjang lengan 7 cm serta jarak antara poros dengan beban yaitu 6 cm. Beban yang digunakan pada pengujian ini adalah magnet yang memiliki massa 15 gram. Hasil dari perhitungan momen inersia pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.5.

Jumlah beban	Massa beban (kg)	Panjang lengan(m)	Momem inersia(kg/m)
1	0,015	0,07	0,00105
2	0,03	0,07	0,0021
3	0,045	0,07	0,00315

Tabel 4.5 menunjukan perhitungan momen inersia yang dimana jumlah beban 1 dengan massa beban 0,015 dan Panjang lengan 0,07 m mendapatkan hasil momen inersia 0,00105 kg/m.

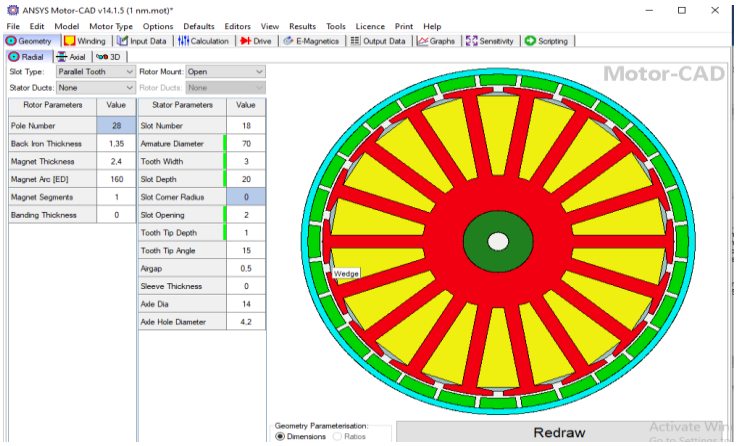
Pengujian Motor BLDC dengan menggunakan beban didapatkan hasil perbandingan kecepatan (rpm) dan daya output anatar motor modifikasi dengan motor motor pabrikan yang dimana kecepatan atau rpm pada motor akan menurun dengan bertambahnya beban. Daya output akan bertambah dengan bertambahnya beban. Pada hasil perbandingan motor modifikasi dengan motor pabrikan, motor modifikasi memiliki daya yang lebih kecil daripada motor pabrikan yang dimana beban yang digunakan sama-sama 50,5 dengan daya yang dihasilkan 7,68 hasil dimana menggunakan beban yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan pada motor modifikasi menggunakan kawat ukuran 0,4 yang lebih kecil daripada motor pabrikan yaitu 0,5 dimana kawat yang lebih kecil akan menghantar arus lebih kecil juga. Sehigga daya yang didapatkan lebih kecil dari pada motor pabrikan.

Dari Pengujian ini, dikarenakan Motor dengan spesifikasi diameter 5 stator 12 dan rotor 16 tidak berputar, maka ada usulan hasil simulasi untuk mencapai 1 Nm. dilihat pada gambar 9.



Gambar 10 Hasil Simulasi Desain Motor Usulan

Gambar 9 menunjukan bahwa desain motor dengan diameter 7 bisa mencapai 1 NM dengan peak torsi 1,1 pada rpm 1272,62. Desain ini memiliki spesifikasi dengan diameter 7 yang mempunyai 18 slot stator, 28 slot rotor, dengan winding turn 7, dan lilitan 23. Dimensi yang dirubah pada desain motor usulan ini dapat dilihat pada gambar 10



Gambar 11 Dimensi pada Motor Usulan

Pada dimensi motor usulan geometry yang dirubah terdapat pada ukuran stator pada desain motor usulan ini ukuran stator lebih kecil dari pada ukuran stator dengan dimensi 10 cm yang dimana ukuran stator pada desain motor usulan yaitu 3 mm.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil modfikasi motor BLDC BM 5010 360 kv yang telah dilakukan dengan beberapa tahapan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Simulassi motor sesuai dengan spesifikasi dengan menggunakan software ansys motorcad dimana hasil yang dibutuhkan memliki spesifikasi diameter 10 dengan jumlah stator 18, jumlah lilitan 54, turn 5, dan jumlah pole rotor 28.
2. Modifikasi motor BLDC yang dimulai dengan lilitan ulang pada stator sesuai dengan simulasi pada software dan dilanjutkan dengan pencetakan rotor baru yang dimana sudah didesain ulang dengan penambahan magnet dari 14 menjadi 16.
3. Pengujian yang dilakukan dengan membandingkan 4 buah motor BLDC yaitu motor pabrikan, motor stator baru, motor rotor baru, dan motor stator, rotor baru. Yang dimana hasil pengujian motor rotor baru dan motor stator,rotor baru tidak bisa berputar karena kuat Tarik magnet yang kurang. Sedangkan motor pabrikan dan motor stator baru bisa berputar dengan dimana hasilnya motor stator baru bisa berputar dengan berat beban yang sama serta

menghasilkan daya yang lebih sedikit yaitu 7,68 watt dibandingkan dengan motor pabrikan yang menghasilkan daya 27 watt.

Referensi

[1] kemenkes RI, "infodatin-stroke-dont-be-the-one," p. 6, 2019.

[2] D. Adiputra *et al.*, "A review on the control of the mechanical properties of Ankle Foot Orthosis for gait assistance," *Actuators*, vol. 8, no. 1. MDPI AG, 2019. doi: 10.3390/act8010010.

[3] LAVITRY, RISER, FOURNY, and CAMPAN, "Myasthénie guérie par l'ablation d'un thymus non tumoral;," *Bull. mémoires la Société*, vol. 69, no. 21–23, pp. 764–767, 1953.

[4] A. Kristianto, "Perencanaan Lilitan Motor Induksi 3 Fasa 220/380 V," *e-Prints uny*, 2016.

[5] D. Rohman Nurdiansyah, S. Aditya Putra, R. Azimansyah, B. Dwi Kurniawan, A. Dasilva Rustandy Putra, and Mh. Fatkhurahman, "Pengaruh Daya Dan Torsi Untuk Performa Sebuah Mesin Effect of Power and Torque the Performance of a Machine," *J. Tek. Otomotif*, p. 7, 2017.

[6] D. A. Winter, *Biomechanics and Motor Control of Human Movement: Fourth Edition*. 2009. doi: 10.1002/9780470549148.

[7] A. S. Zamzamy, "Desain Dan Pembuatan Model Kafo (Knee Ankle Foot Orthosis) Berdasarkan Antropometri Tubuh Orang Indonesia," *Univ. Islam Indones.*, 2018.

[8] M. H. Barri, A. Ryandika, A. Cesario, and A. Widyotriatmo, "Desain dan Kontrol Posisi dari Arm Manipulator Robot Sebagai Alat Rehabilitasi Pasien Pasca Stroke," *J. Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 2017, [Online]. Available: https://doi.org/10.5614/joki.2017.9.2.2