

DETEKSI GANGGUAN *PHASE TO GROUND* PADA MOTOR BRUSHLESS DC MENGGUNAKAN MODEL MATLAB SIMULINK DENGAN METODE *FAST FOURIER TRANSFORM* (FFT)

Gita Arya Pratama, Iradiratu Diah P.K, Belly Yan Dewantara

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan

Universitas Hang Tuah Surabaya, Indonesia

Jl. Arif Rahman Hakim, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60111

e-mail : aryaxiitpm@gmail.com

ABSTRACT

Motor brushless DC tipe interior permanen magnet (IPM) sering digunakan untuk aplikasi rumah tangga, industry dan kendaraan listrik. Tugas akhir ini membahas tentang pendeteksian kerusakan pada motor brushless DC berupa analisa inputan arus stator saat terjadinya gangguan hubung singkat phase to ground. Tugas akhir ini mengenai gangguan phase to ground yang bertujuan menambah wawasan tentang karakteristik gangguan tersebut dengan menggunakan MATLAB Simulink dan mengetahui kerusakan lebih dini. Hasil dari data tersebut dianalisa menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) dan mendapatkan data berupa amplitude menggunakan pengamatan titik frekuensi yang sudah ditentukan. Dengan adanya system program MATLAB simulink bisa mengetahui pola dari kerusakan yang terjadi sehingga perlu adanya diagnosis awal yang mendeteksi kerusakan pada hubung singkat stator, agar dapat mengetahui spesifikasi kerusakan dan lebih cepat, tanggap perbaikan sebelum terjadi kerusakan yang parah.

Keywords : *Hubung singkat Belitan Stator, Gangguan Phase to Ground, Fast Fourier Transform (FFT)*

1. PENDAHULUAN

Motor *brushless* DC merupakan jenis motor yang digunakan untuk aplikasi rumah tangga, industri dan kendaraan listrik. Motor *brushless* DC merupakan katagori motor yang tidak menggunakan *brush* (sikat) sebagai komutasinya, motor ini menggunakan

komutasi secara elektris. Motor *brushless* DC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan motor DC lainnya atau motor induksi diantaranya adalah memiliki keandalan dan efesiensi yang tinggi, *noise* akustik yang rendah, dan memiliki *range* kecepatan yang tergolong tinggi. Pada motor *brushless* DC terdapat

2 komponen yang sangat penting yaitu stator dan rotor. Dimana stator adalah bagian komponen diam, sedangkan rotor bagian komponen bergerak. Motor BLDC dinilai mempunyai tingkat efisiensi dan performa yang lebih baik dari motor listrik yang lainnya. Didalam pemakaiannya motor BLDC akan mengalami kerusakan, hal tersebut dikarenakan kesalahan pengoperasian, kerusakan pabrik atau dikarenakan lamanya pemakaian (Park, 2015).

Adapun permasalahan yang sering terjadi pada motor listrik yaitu mengenai kesalahan gangguan belitan stator, ada 2 macam kategori gangguan belitan stator antara lain hubung singkat *phase to phase* dan hubung singkat *phase to ground*. Gangguan hubung singkat *phase to phase* merupakan gangguan yang disebabkan ketika fasa satu terhubung ke fasa yang lain sehingga terhubung singkat, sedangkan gangguan *phase to ground* merupakan gangguan yang disebabkan karena salah satu fasa terhubung singkat ke tanah (Diwatelwar, 2018). Hal ini akan menyebabkan kerusakan terhadap motor serta biaya perbaikan akan semakin meningkat ketika gangguan tidak terdeteksi lebih awal. Dengan demikian, operasi motor untuk waktu yang lama akan meningkatkan kerusakan dan

menyebabkan kerusakan gangguan terhadap rotor (Park, 2015).

Beberapa peneliti telah banyak melakukan pendeteksian kerusakan pada motor *brushless DC*, diantaranya: melalui pendeteksian getaran, kebisingan dan resonansi dengan metode *finite element metode* (FEM) yang mengidentifikasi eksentrisitas dinamis. Dari permasalahan yang telah dijabarkan maka pada tugas akhir ini akan melakukan eksperimen untuk mendapatkan wawasan mengenai pendeteksian gangguan hubung singkat *phase to ground* pada motor BLDC dilakukan dengan menggunakan simulasi MATLAB. Pada tugas akhir ini dilakukan pendekatan karakteristik arus stator dengan teknik diagnosa FFT. Dari hasil penelitian ini kerusakan dapat terdeteksi lebih awal dan dapat meminimalisir terjadinya kerusakan yang serius dan bisa mengetahui spesifikasi lebih awal tentang kerusakan *phase to ground* pada motor *brushless DC*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Distribusi

Motor *Brushless DC* disebut juga dengan PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*) 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. 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 (Dinansyar, 2016).

B. Kontruksi Motor Brushless DC

Motor brushless DC terdiri dari rotor yang terbuat dari magnet permanen dan stator yang terdiri dari kumparan yang digulung pada struktur lapisan plat besi. Ada 2 tipe dari motor brushless DC; yang pertama inside rotor dimana rotor ada di tengah sedangkan stator di luar. Yang kedua adalah outside rotor dimana rotor berada di luar dan stator berada di tengah. Prinsip kerjanya sama hanya saja kecepatan dan torsiya berbeda. Rotor diluar menghasilkan torsi lebih besar dan kecepatan lebih lambat dibandingkan dengan rotor di dalam. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan jumlah magnet pada rotornya. Semakin banyak magnet pada rotor maka penggerakan setiap langkahnya akan semakin kecil,

sehingga membutuhkan pergerakan lebih banyak dalam satu putaran.

C. Gangguan Hubung Singkat

Hubung Singkat adalah suatu peristiwa terjadinya hubungan bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar) yang biasa disebut arus hubung singkat. Persamaan hubung singkat pada motor BLDC:

$$f_{SITF} = (2k - 1)ff \quad (1)$$

f_{SITF} = frekuensi hubung singkat

k = sebagai nilai *integer*

ff = frekuensi awal

Ada 4 macam mengenai hubung singkat :

a. Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Pada sistem jaringan, gangguan satu fasa ke tanah akan mengalirkan arus gangguan yang sangat besar. Pada motor gangguan ini dapat terjadi dan dapat merusak isolasi, sehingga terjadi hubung singkat antara kawat fasa dengan beban.

b. Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Hubung singkat dua fasa ketanah adalah hubung singkat antara fasa dengan fasa ketanah, arus hubung singkat besarnya ditentukan oleh komponen urutan positif dan urutan negatif ditentukan oleh besarnya urutan nol.

c. Hubung Singkat Antar Fasa

Arus gangguan hubung singkat fasa ke fasa besarnya ditentukan oleh impedansi urutan positif dan urutan negatif, dalam hal ini komponen arus urutan nol tidak ada, ini disebabkan karena pada titik gangguan tidak terdapat hubung singkat ketanah.

d. Hubung Singkat Tiga Fasa

Terjadinya arus lebih pada stator yang dimaksud adalah arus lebih yang timbul akibat terjadinya hubungan singkat 3 fasa/3 phase fault. Dimana urutan positif merupakan arus yang mengalir di impedansi yang terhubung di fasa A urutannya sama dengan urutan tegangan yang dibangkitkan di fasa A.

D. Proses Pengolah Sinyal

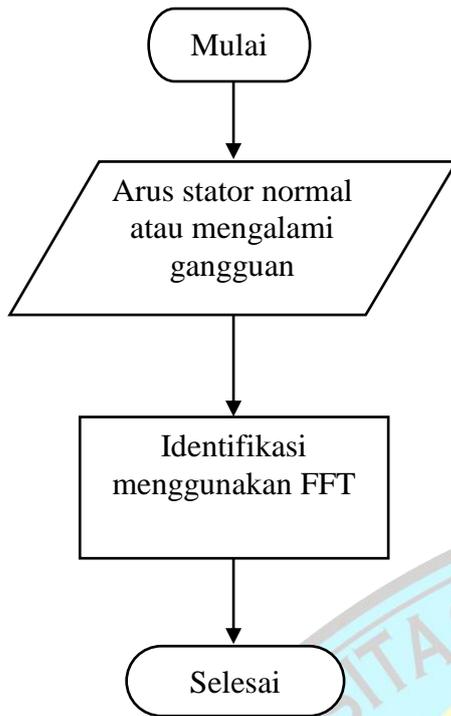
FFT merupakan suatu metode perhitungan cepat dari *Discrete Fourier Transform* (DFT) atau dengan kata lain FFT merupakan pengembangan dari DFT. DFT merupakan suatu metode perhitungan yang mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Biasanya FFT digunakan untuk keperluan analisis spektrum dalam domain frekuensi. Dengan menggunakan FFT, suatu sinyal dapat dilihat sebagai objek dalam domain frekuensi. FFT lebih cocok digunakan pada sinyal diskrit yang periodik dan simetri. Sinyal diskrit yang

periodik dan simetri adalah sinyal diskrit yang terus berulang pada rentang waktu tertentu dan memiliki pencerminan disekitar titik tengahnya.

3. METODE PENELITIAN

A. Prancangan Sistem Penelitian

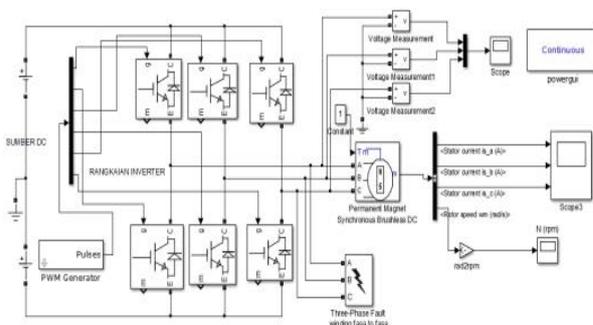
Pada tugas akhir ini akan dilakukan pendeteksian terjadinya kerusakan pada motor brushless DC melalui analisa frekuensi fundamental pada arus stator. Untuk pendeteksian kerusakan ini dijalankan pada simulasi *software* simulink MATLAB yang nantinya akan didapatkan arus stator, kecepatan rotor, torsi output. Simulasi terdiri dari motor saat keadaan normal maupun motor saat mengalami kerusakan belitan stator. Hasil dari simulasi akan di variasikan dalam kondisi tanpa beban maupun berbeban. Selanjutnya data dari simulasi akan dianalisa menggunakan metode FFT.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian.

B. Perancangan Sistem Rangkaian

Semua perancangan yang telah dibuat akan diuji dan di analisa. Pengujian sistem bermaksud untuk mendapatkan data yang dapat diolah untuk menentukan kondisi motor BLDCsaat terjadi kerusakan rotor. Untuk kerusakan rotor akan dimodelkan ketidaksimetrisan dari induktansi dan resistansi didalam fasa motor, yang mana menghasilkan ketidaksimetrisan medan elektromagnetik di dalam air gap antara stator dan rotor.



Gambar 6. Simulasi rangkaian system motor BLDC

Pada gambar 6 dapat dilihat sistem rangkaian motor bldc dengan tegangan sumber 36 V , adanya desain inverter 3 fasa untuk menjadikan sumber tegangan dengan arus searah menjadi tegangan dengan arus bolak-balik.

C. Spesifikasi Motor brushless DC

Pada gambar 3.10 merupakan hasil parameter yang sudah dimasukkan ke dalam motor bldc simulink yang akan dijadikan acuan atau motor normal. Nantinya hasil dari motor normal akan dibandingkan dengan saat terjadinya gangguan belitan *phase to ground* pada motor BLDC.

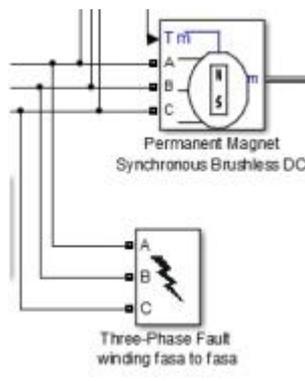
Tabel 1. Parameter motor BLDC

NO	PARAMETER	NILAI
1.	<i>Stator phase resistance</i> R_s (ohm)	0,18 ohm
2.	<i>Armature inductance</i> (H)	0.000835 H
3.	<i>Flux linkage established by magnets</i> (V.s)	0.07145 V.s
4.	<i>Voltage Constant</i> (V_peak L-L / krpm)	29.239
5.	<i>Torque Constant</i> (N.m / A_peak)	0.3269
6.	[J(kg.m ²) F(N.m.s) p) Tf(N.m)]:	[0.00062 0.0003035 4 0]
7.	wm(rad/s)	750 RPM

D. Rekontruksi Gangguan Stator Phase to Ground

Proses pengambilan/penempatan saat diberi gangguan belitan stator pada motor

BLDC yang akan dianalisa. Setelah adanya pemasangan gangguan belitan saat proses motor bekerja akan ada perbedaan sinyal saat running sistem diposisi motor normal dan disaat terjadinya gangguan, Gangguan yg terlihat nantinya adalah perbedaan amplitude tiap fasa motor kondisi normal dan dengan kondisi saat ada gangguan yang akan diamati menggunakan metode FFT.



Gambar 7. Penempatan gangguan hubung singkat phase to ground

Tabel 2. Merupakan hasil amplitude dengan perubahan resistansi 0.001 tanpa beban dimana dilakukan 10 titik pengamatan freuensi saat terjadi gangguan. Adanya tanda merah merupakan peningkatan amplitude di tiap arus stator fasanya, sedangkan warna biru merupakan data amplitude motor disaat keadaan normal. Peningkatan yang terjadi merupaka karakteristik adanya gangguan *phase to ground*. Pada hasil pembahasan ini dilakukan perubahan variasi resistansi 0.001, 0.002, 0.003, 0.004, 0.005 untuk melakukan pendeteksian dengan pengamatan titik frekuensi. keterangan 4.1 akan menampilkan hasil grafik saat kondisi normal dan saat ada gangguan.

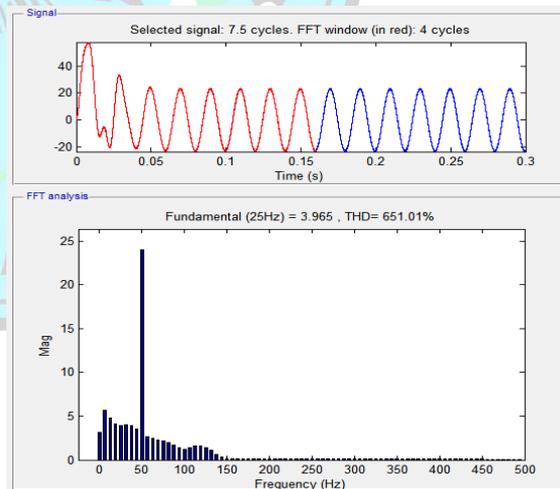
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi Matlab menggunakan metode FFT

Tabel 2. Hasil amplitude tiap fasa dengan metode FFT

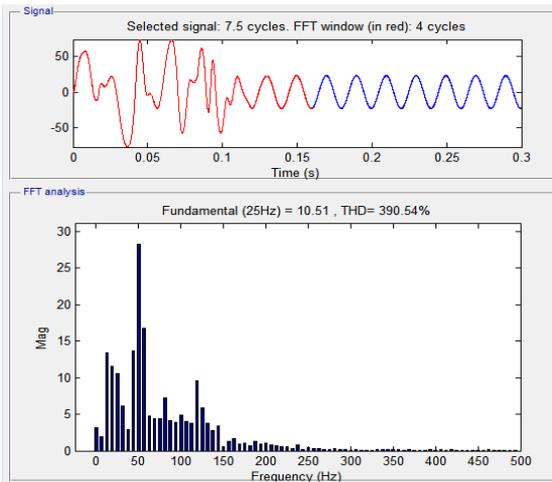
Kondisi	Frekuensi deteksi berdasarkan integer									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	25	75	125	175	225	275	325	375	425	475
	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
Normal	3.96	2.16	1.43	0.14	0.16	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Fasa A ke	10.51	4.43	5.83	1.09	0.60	0.13	0.10	0.04	0.08	0.12
Ground	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Fasa B ke	10.14	0.27	7.87	1.07	0.38	0.26	0.08	0.07	0.04	0.05
Ground	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Fasa C ke	3.11	4.22	4.87	0.61	0.63	0.19	0.10	0.08	0.05	0.07
Ground	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

4.1 Kondisi Normal

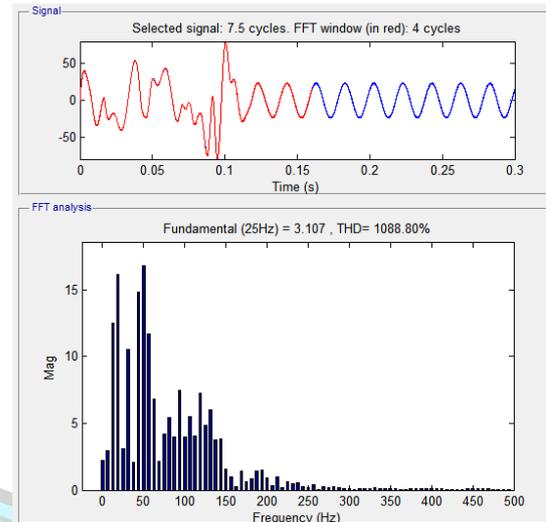


Gambar 8. Analisa FFT kondisi normal

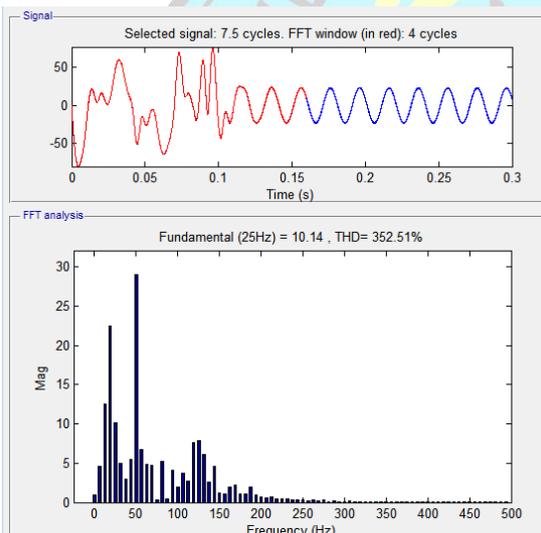
4.1.2 Gangguan *phase to ground*



Gambar 9. Analisa FFT arus stator fasa A saat kondisi *phase to ground* pada motor *brushless* DC.



Gambar 10. Analisa FFT arus stator fasa C saat kondisi *phase to ground* pada motor *brushless* DC.



Gambar 10. Analisa FFT arus stator fasa B saat kondisi *phase to ground* pada motor *brushless* DC.

B. Keberhasilan keseluruhan

Tabel 3. Presentase Keberhasilan Berdasarkan Tanpa Beban Menggunakan Perubahan Resistansi

Titik frekuensi	25 Hz	75 Hz	125 Hz	175 Hz	225 Hz	275 Hz	475 Hz	Presentase
Resistansi 0.001	10.51	4.43	5.83	1.09	0.60		0.12	53,28
Pada fasa:								%
A	10.51	4.43	5.83	1.09	0.60		0.12	
B	10.14		7.87	1.07	0.38	0.26		
C		4.22	4.87	0.61	0.63	0.19		
Resistansi 0.002	10.51	4.44	5.83	1.09	0.59		0.12	53,28
Pada fasa:								%
A	10.51	4.44	5.83	1.09	0.59		0.12	
B	10.16		7.87	1.07	0.38	0.26		
C		4.22	4.86	0.61	0.62	0.19		
Resistansi 0.003	10.51	4.44	5.84	1.09	0.59		0.12	53,28
Pada fasa:								%
A	10.51	4.44	5.84	1.09	0.59		0.12	
B	10.17		7.87	1.07	0.38	0.26		
C		4.22	4.86	0.61	0.62	0.19		
Resistansi 0.004	10.51	4.44	5.83	1.09	0.59		0.12	53,28
Pada fasa:								%
A	10.51	4.44	5.83	1.09	0.59		0.12	
B	10.16		7.87	1.07	0.38	0.26		
C		4.22	4.86	0.61	0.62	0.19		
Resistansi 0.005	10.51	4.45	5.84	1.09	0.59		0.12	53,28
Pada fasa:								%
A	10.51	4.45	5.84	1.09	0.59		0.12	
B	10.18		7.86	1.06	0.38	0.26		
C		4.22	4.86	0.61	0.62	0.19		
Rata - rata								53,28 %

Dari tabel 3 didapatkan hasil dari rata - rata setiap variasi resistansi tanpa beban. Hasil rata - rata digunakan supaya mendapatkan hasil real pada tugas akhir ini. Pada kondisi tanpa beban dapat mendeteksi *phase to ground* sebesar 53.28 % tiap fasanya dengan rata-rata presentase 53.28 % . Hasil tersebut menunjukkan bahwa gangguan *phase to ground* sudah terdeteksi dengan

kenaikan amplitude meskipun belum ada beban.

Tabel 4 Presentase Keberhasilan Berdasarkan Berbeban Menggunakan Perubahan Resistansi

Titik frekuensi	25 Hz	75 Hz	125 Hz	175 Hz	225 Hz	275 Hz	325 Hz	475 Hz	Presentase
Resistansi 0.001 A	13.9	3.64	7.87	2.07	0.68	0.57	0.16	0.11	63.27
Pada fasa: B	13.5	3.10	6.84	2.07	0.57				%
C	5.24		5.12	0.24	1.01	0.46	0.17		
Resistansi 0.002 A	13.9	3.64	7.87	2.05	0.68	0.57	0.16	0.11	63.27
Pada fasa: B	13.5	3.12	6.85	2.06	0.57				%
C	5.22		5.11	0.23	1.02	0.46	0.17		
Resistansi 0.003 A	13.9	3.62	7.88	2.07	0.68	0.58	0.17	0.11	66.6
Pada fasa: B	13.5	3.10	6.82	2.08	0.57	0.16			%
C	5.25		5.15	0.25	1.00	0.46	0.17		
Resistansi 0.004 A	13.9	3.63	7.87	2.05	0.68	0.57	0.16	0.11	63.27
Pada fasa: B	13.5	3.12	6.84	2.07	0.57				%
C	5.24		5.14	0.24	1.01	0.46	0.17		
Resistansi 0.005 A	13.9	3.63	7.88	2.05	0.68	0.57	0.16	0.11	63.27
Pada fasa: B	13.5	3.12	6.83	2.07	0.57				%
C	5.24		5.14	0.24	1.01	0.46	0.17		
Rata - rata									63.9
									%

Dari tabel 4 didapatkan hasil dari rata - rata setiap variasi resistansi tanpa beban. Pada kondisi berbeban dapat mendeteksi *phase to ground* dengan rata-rata presentase sebesar 63.9 %. Data tersebut dari tidak berbeban dan berbeban dapat dianalisa bahwa deteksi gangguan *phase to ground* saat dilakukan tanpa beban lebih baik dibandingkan saat berbeban. Karena disaat berbeban memiliki kenaikan *amplitude* lebih banyak pada titik pengamatan frekuensi dan nilai rata-rata presentase juga lebih besar daripada tanpa beban.

5. Kesimpulan

Pada pendeteksian *phase to ground* menggunakan simulasi MATLAB dengan menggunakan FFT ternyata mendapatkan perubahan dan perbedaan pada amplitude tiap fasanya, banyaknya terjadi kenaikan

amplitude yang disimbolkan terjadi gangguan *phase to ground*.

Bila terjadi kenaikan ataupun perubahan *amplitude* yang dialami oleh motor brushless dc saat bekerja bisa disimpulkan bahwa motor tersebut mengalami gangguan hubung singkat.

Identifikasi saat mengalami gangguan *phase to ground* perubahan yang dialami antara lain : adanya lonjakan arus pada waktu awal dan perubahan amplitude pada analisa FFT.

DAFTAR PUSTAKA

- Bolognani, S., Zordan, M., and Zigliotto, M. 2000. *Experimental Fault-Tolerant Control of a PMSM Drive*. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 47, NO. 5.
- Dewantara, B. Y. 2017. *Eeksperimen Ddeteksi Eksentrisitas Statis Celah Udara Motor Induksi Melalui Analisa Frekuensi Resolusi pada Arus Stator* [Thesis]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Diwatelwar, K.P., Malode, S.K. 2018. *Fault Detection and Analysis of three -phase Induction Motor using MATLAB Simulink Model*. (Volume: 05 Issue: 05). IRJET

- Dewangga, M. 2015. *Desain Sistem Kontrol Kecepatan Motor BLDC Berbasis Programmable Array Logic dengan Metode Six Step Commutation* [Skripsi]. Jember: Universitas Jember.
- Dinansyar, F. 2016. *Speed Control of Brushless DC Motor Using Fuzzy Based on Linier Quadric Regulator Controller* [Tugas Akhir]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Faiz, J., Ebrahimi, B.M., and Akin, B. 2010. "Dynamic analysis of mixed eccentricity signatures at various operating points and scrutiny of related indices for induction motors" School of Electrical and Computer Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
- Jayetileke, H.R., De Mel, W.R., and Ratnayake, H.U.W. 2017. *Modelling and Simulation Analysis of the Genetic-Fuzzy Controller for Speed Regulation of a Sensored BLDC Motor Using MATLAB/SIMULINK*. 978-1-5386-1676-5. IEEE.
- Jonar, V., Asfani, D.A., and Yuwono, T. 2013. *Deteksi Kerusakan Rotor Pada Motor Induksi Menggunakan Analisis Frekuensi Resolusi Tinggi*. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1.
- Jiang, C., and Habetler, T. G. 2015. *Static Eccentricity Fault Detection of the BLDC Motor inside the Air Handler Unit (AHU)*. Fellow, IEEE Georgia Institute of Technology Atlanta, USA.
- Lee, S.T., Hur, J. 2015. *Detection Technique for Stator Inter-Turn Faults in BLDC Motors Based on Third Harmonic Components of Line Currents*. IEEE.
- Poovizhi, M., Kumaran, M.S., Ragul, R., and Priyadarshini, L.I. 2017. *Investigation of Mathematical Modelling of Brushless DC Motor (BLDC) Drives by using Matlab-Simulink*. 978-1-5090-4679-9. IEEE.
- Park, J. K. 2015. "Detection of Inter-Turn and Dynamic Eccentricity Faults Using Stator Current Frequency Pattern in IPM-Type BLDC Motors", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS
- Park, J. K. 2015. "Detection of Inter-Turn and Dynamic Eccentricity Faults Using Stator Current Frequency Pattern in IPM-Type BLDC Motors", IEEE

TRANSACTIONS ON
INDUSTRIAL ELECTRONICS.

Putra, I. H. 2019. *Karakteristik Unjuk Kerja Motor BLDC 500 W Terhadap Jumlah Lilitan dan Diameter Lilitan Stator [Skripsi]*. Jember: Universitas Jember.

Sujadi, H., Sopiandi, L., and Mutaqin, A., *Sistem Pengolahan Suara Menggunakan Algoritma FFT (FAST FOURIER TRANSFORM)*. 2017. ISBN: 978-602-8557-20-7. Universitas Majalengka.

Shakouhi, S. M., Mohamadian, M., and Afjei, S. E., 2011. *Control of BLDC Motor in Presence of Static Rotor Eccentricity*. 978-1-4673-5003-7/11\$26.00©2011 IEEE. Istanbul-Turkey.

