



**ANALISIS HARMONISA
PADA GENERATOR 12 *SLOT* 8 *POLE*
DENGAN *SOFTWARE MagNet***

PROPOSAL SKRIPSI

Oleh

**Ayu Martha Lestari
NIM 1519101012**

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**ANALISIS HARMONISA
PADA GENERATOR 12 SLOT 8 POLE
DENGAN SOFTWARE MagNet**

PROPOSAL SKRIPSI

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Ayu Martha Lestari
NIM 151910101012**

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik;
2. Ibunda dan ayahanda tercinta yang telah memberikan kasih sayang dan dukungan tiada henti;
3. Adik-adikku yang telah memberikan semangat;
4. Dosen pembimbing Bapak Dr. Gaguk Jatisukanto S.T., M.T dan Bapak Aris Zainul Muttaqin S.T., M.T yang sangat membantu dalam pembuatan skripsi ini.
5. Dosen penguji Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto M.T dan Bapak Santoso Mulyadi S.T., M.T yang telah berkenan menguji dan mengoreksi skripsi ini.
6. Guru-guru SDN Sumber Pakem 01, SMPN 2 Sumberjambe, MAN 1 Situbondo , dan dosen-dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat;
7. PT. Lentra Bumi Nusantara, Tasikmaaya yang telah mengizinkan dan memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian;
8. Teman-teman satu angkatan yang telah memberikan semangat dan motivasi
9. Teman-teman KKN yang telah mensupport dalam memberikan semangat;
10. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

”Segera kerjakan.

Pastikan kerjakan dengan benar

Kerjakan hingga tuntas”

(Shigenobu Nagamori)

“ Semakin anda naik, semakin terasa dingin.

Semakin anda bersinar, semakin banyak bayangan yang mengikuti”

(Suga - Yoonki Min)

“Tak semua yang terlihat dapat didefinisikan dan yang sejatinya berharga tak perlu dunia mengetahui, karna ada kalanya bersyukur itu lebih baik”

(A.D, 2016)

“Semua pilihan pasti ada konsekuensinya, tinggal bagaimana kita memilih dan menjalaninya”

(Ayu Martha Lestari)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Ayu Martha Lestari

NIM : 151910101012

Menyatakan dengan sungguh – sungguh bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Harmonisa pada Generator *12 Slot 8 Pole* dengan *Software MagNet*” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2018

Yang Menyatakan,

Ayu Martha Lestari

NIM 1519101012

SKRIPSI

**ANALISIS HARMONISA
PADA GENERATOR 12 SLOT 8 POLE
DENGAN SOFTWARE *MagNet***

Oleh

Ayu Martha Lestari

NIM 151910101012

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Harmonisa pada Generator 12 *Slot* 8 *Pole* dengan *Software MagNet*” karya Ayu Martha Lestari telah diuji dan di sahkan pada:

Hari, tanggal : Rabu, 26 Desember 2018

Tempat : Ruang Ujian II, Lantai III Dekanat, Fakultas Teknik

Pembimbing

Pembimbing II

Pembimbing II

Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T.
NIP. 196902091008021001

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP. 196812071995121002

Penguji

Penguji I

Penguji II

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP. 196008121998021001

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP. 197002281997021001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Entin Hidayah, M. U. M.
NIP. 196612151995032001

RINGKASAN

ANALISIS SIMULASI HARMONISA PADA GENERATOR 12 SLOT 8 POLE DENGAN SOFTWARE MagNet

Ayu Martha Lestari, 151910101012; 2018; 54 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan energi listrik Indonesia mengalami peningkatan 7% pertahunnya. Daya sambung pada pelanggan tahun 2017 mencapai 114.347,64 MVA. Energi listrik dihasilkan dari mesin-mesin pembangkit listrik, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Bagian paling penting PLTB salah satunya adalah generator. Generator mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik berdasarkan hukum Faraday.

Output dari generator berupa tegangan dan terdapat distorsi gelombang yang menyebabkan grafik fungsi yang dihasilkan mengalami penyimpangan siklus. Penyimpangan siklus yang disebabkan oleh distorsi ini disebut harmonisa. Harmonisa menyebabkan tegangan yang dihasilkan berkurang. Geometri *umbrella* mempengaruhi kandungan harmonisa pada generator. Variasi geometri *umbrella* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *umbrella* 8° tanpa *fillet*, *umbrella* 8° dengan *fillet*, *umbrella* 10° tanpa *fillet*, dan *umbrella* 10° dengan *fillet*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah simulasi dengan *software MagNet*. Penelitian ini berusaha untuk mencari geometri *umbrella* yang paling baik berdasarkan variasi geometri *umbrella* 8° tanpa *fillet*, *umbrella* 8° dengan *fillet*, *umbrella* 10° tanpa *fillet*, dan *umbrella* 10° dengan *fillet*. Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai kerapatan fluks (B), konsentrasi tegangan (K_t), tegangan output (V), kandungan harmonisa, dan torsi pada generator.

Hasil penelitian menunjukkan nilai kerapatan *fluks* paling (B) paling baik yaitu $B = 1,502$ Wb untuk *umbrella* 8° dengan *fillet*. Nilai konsentrasi tegangan paling baik yaitu $K_t = 1,870$ pada *umbrella* 8° dengan *fillet*. Kandungan harmonisa terendah yaitu dua harmonisa terdapat pada *umbrella* 8° dengan *fillet*. Pemberian *fillet* mengurangi 3,75% kandungan harmonisa pada generator. Tegangan output

generator paling baik adalah *umbrella* 8° dengan *fillet* yaitu $V = 227.885$ Volt .

Torsi paling baik adalah *umbrella* 8° dengan *fillet* yaitu $T = 0,530$ Nmm.



SUMMARY

Harmonic analysis on 12 Slot 8 Pole generator with MagNet software; Ayu Martha Lestari, 151910101012; 2018; 54 pages; Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Indonesia's electricity needs increased 7% annually. Connectivity for customers in 2017 reached 114,347.64 MVA. Electric energy is produced from power plant machines, one of which is the Bayu Power Plant (PLTB). One of the most important parts of PLTB is the generator. The generator converts mechanical energy into electrical energy based on Faraday's law.

The output of the generator is a voltage and there is a waveform that causes the graph of the resulting function to experience cycle deviations. Cycle deviations caused by this distortion are called harmonics. Harmonics causes the resulting voltage to decrease. Umbrella geometry affects the harmonic content of the generator. The umbrella geometry variation used in this study is umbrella 8° without fillets, umbrella 8° with fillets, umbrella 10° without fillets, and umbrella 10° with fillets.

The method used in this study is a simulation with MagNet software. This study sought to find the best umbrella geometry based on umbrella 8° geometry variations without fillets, umbrella 8° with fillets, umbrella 10° without fillets, and umbrella 10° with fillets. . This study aims to find the flux density value (B), stress concentration (Kt), outpt voltage (V), harmonic content, and torque on the generator.

The results showed the best (B) flux density value was $B = 1.502$ Wb for umbrella 8° with fillets. The best stress concentration value is $Kt = 1,870$ in umbrella 8° with fillets. The lowest harmonic content is two harmonics found in umbrella 8° with fillets. Giving fillets reduces 3.75% of the harmonic content of the generator. The best output voltage of the generator is umbrella 8o with fillet which is $V = 227,885$. The best torque is umbrella 8o with fillet which is $T = 0.530$ Nmm.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Harmonisa pada Generator 12 Slot 8 Pole dengan *Software MagNet*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Entin Hidayah M, UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember ;
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bapak Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T. dan Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing;
5. Bapak Ricky Elson selaku pepmbimbing lapangan di PT. Lentera Bumi Nusantara;
6. Mbak Inayah N.Zahra selaku CEO di PT. Lentera Bumi Nusanta;
7. Ayah, Ibu, Adik-adik, dan keluarga yang telah memberikan dukungan non – materiil dan materiil;
8. Teman-teman sengkatan yang telah memberi semangat, motivasi, dan dukungan.
9. Teman teman KKN yang selalu mendukung.
10. Civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Jember, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Cover	i
Halaman Judul	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
SKRIPSI	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1.PENDAHULUAN	17
1.1. Latar Belakang	17
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB 2. LANDASAN TEORI	5
2.1. Generator Sinkron	5
2.1.1. Konstruksi Generator Sinkron	5
2.1.2. Gaya Gerak Listrik (GGL)	6
2.1.3. Kecepatan Putar dari Generator Sinkron	7
2.1.4. Tegangan pada Generator Sinkron	8
2.1.5. <i>Mechanical Angle</i> dan <i>Electrical Angle</i>	8
2.2. Harmonisa	8
2.3. Fast Furier Transform (FFT)	10
2.4. Konsentrasi Tegangan	11

2.5.	Torsi Generator (τ)	11
2.6.	Software MagNet.....	12
2.7.	Hipotesis.....	13
BAB 3. METODOLOGI.....		14
3.1.	Tempat Penelitian	14
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian.....	14
3.3.	Prosedur Penelitian.....	14
3.4.	Variabel Pengujian	16
3.4.1.	Variabel Penelitian.....	16
3.4.2.	Pengambilan Data	18
3.4.3.	Pengolahan Data	18
3.5.	Diagram Alir Penelitian.....	19
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		20
4.1.	Hasil Simulasi Rotor dan Stator Generator 12 Slot 8 Pole.....	20
4.1.1.	Kerapatan Fluks (B).....	20
4.1.2.	Konsentrasi Tegangan (Kt)	21
4.2.	Tegangan Fasa (E)	22
4.3.	Analisis Harmonisa.....	24
4.4.	Analisa Tegangan Output Generator (V)	26
4.5.	Analisis Geometri <i>Umbrella</i> Terhadap Torsi Generator (τ)	27
BAB 5. PENUTUP		29
5.1.	Kesimpulan.....	29
5.2.	Saran	31
DAFTAR PUSTAKA.....		32
LAMPIRAN.....		35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) Bentuk rotor non-salient pole, (b) bentuk rotor silient pole (J.Chapman Stephen, 2012) 6

Gambar 2. 2 Aturan tangan kanan (Issetyorini dan Antono, 2012) 7

Gambar 2. 3 Bentuk gelombang yang terdistorsi akibat harmonisa (Alamsyah, 2012)..... 9

Gambar 2. 4. Konsentrasi tegangan pada plat yang memiliki lubang..... 11

Gambar 2. 5 Ikon software MagNet (Edward, 2014). 12

Gambar 2. 6 Hasil grafik simulasi pada MagNet..... 13

Gambar 3. 4 (a) *umbrella* 8° (b) *umbrella* 8° dengan *fillet* (c) *umbrella* 10° (d) *umbrella* 10° dengan *fillet* 14

Gambar 4. 1 Kerapatan fluks pada generator 12 Slot 8 Pole. (a) U₈-dengan fillet (b) U₈-tanpa fillet (c) U₁₀-dengan fillet (d) U₁₀-tanpa fillet 20

Gambar 4. 2 Konsentrasi tegangan stator pada (a) U₈-dengan fillet (b) U₈-tanpa fillet (c) U₁₀-dengan fillet (d) U₁₀-tanpa fillet 21

Gambar 4. 3 Grafik tegangan fasa pada . (a) U₈-dengan fillet (b) U₈-tanpa fillet (c) U₁₀-dengan fillet (d) U₁₀-tanpa fillet 23

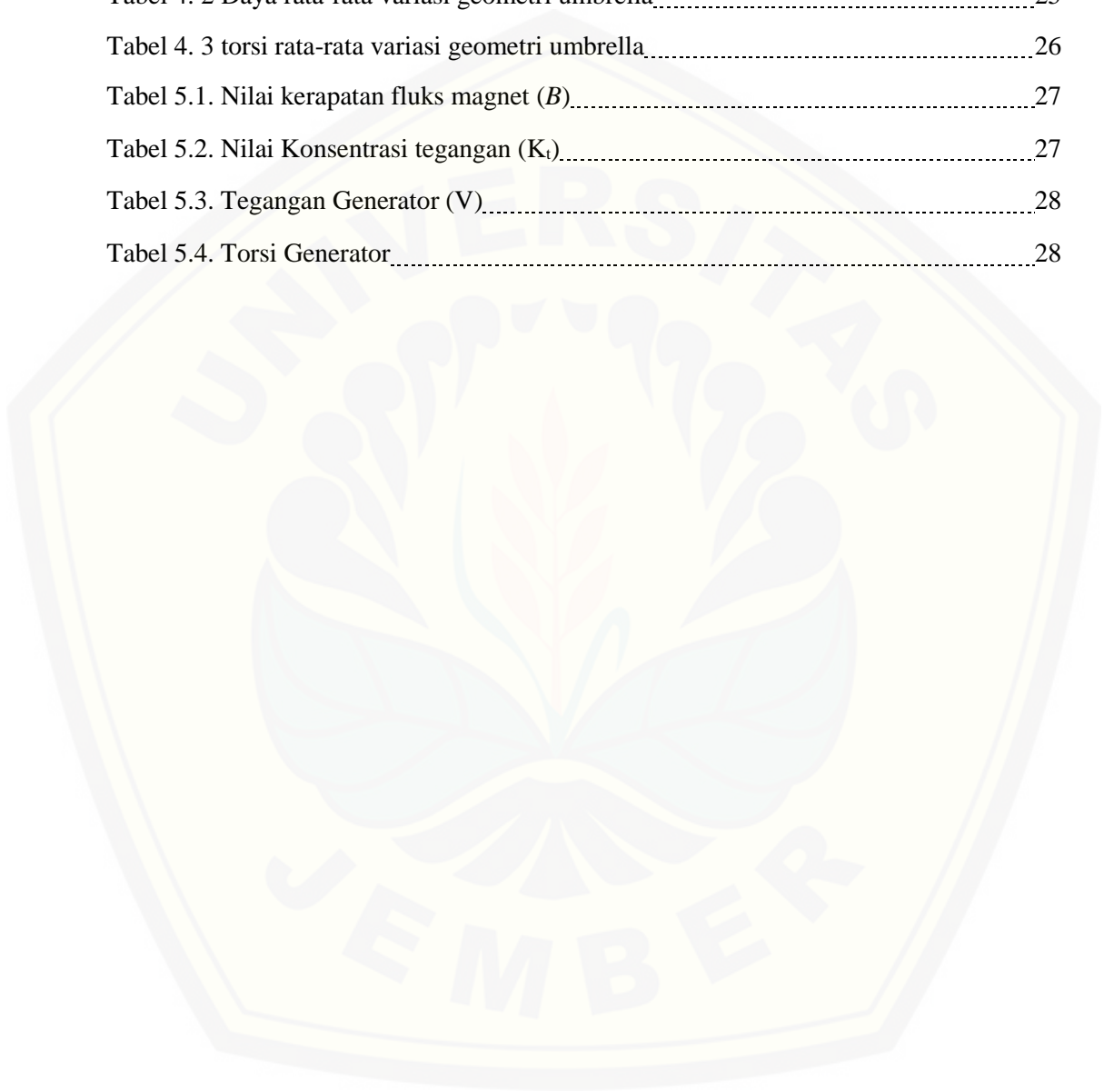
Gambar 4. 4 Grafik harmonisa pada (a) U₈-tanpa fillet (b) U₈-dengan fillet (c) U₁₀-tanpa fillet (d) U₁₀-dengan fillet 24

Gambar 4. 5 Grafik hubungan daya terhadap waktu..... 26

Gambar 4. 6. Grafik korelasi torsi terhadap sudut putaran rotor 27

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Kandungan dan persentase harmonisa.....	24
Tabel 4. 2 Daya rata-rata variasi geometri umbrella.....	25
Tabel 4. 3 torsi rata-rata variasi geometri umbrella.....	26
Tabel 5.1. Nilai kerapatan fluks magnet (B).....	27
Tabel 5.2. Nilai Konsentrasi tegangan (K_t).....	27
Tabel 5.3. Tegangan Generator (V).....	28
Tabel 5.4. Torsi Generator.....	28



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 4.1. Data <i>fluks linkage</i> pada umbrella 8° tanpa fillet.....	33
Lampiran 4.2. Data <i>fluks linkage</i> pada umbrella 8° dengan <i>fillet</i>	34
Lampiran 4.3. Data fluks linkage pada Umbrella 10° tanpa fillet.....	35
Lampiran 4.4. Data <i>fluks linkage</i> pada Umbrella 10° dengan fillet.....	36
Lampiran 4.5. Grafik korelasi <i>fluks linkage</i> terhaap <i>electrical angle</i>	38
Lampiran 4.6. Tegangan fasa satu coil dan tegangan fasa empat coil umbrella 8° tanpa fillet.....	39
Lampiran 4.8. Tegangan fasa satu coil dan tegangan fasa empat coil umbrella 8° dengan fillet.....	40
Lampiran 4.9. Tegangan fasa satu coil dan tegangan fasa empat coil umbrella 10° tanpa fillet.....	41
Lampiran 4.10. Tegangan fasa satu coil dan tegangan fasa empat coil umbrella 10° tanpa fillet.....	42
Lampiran 4.11. grafik korelasi tegangan fasa 1 coil dengan electrical angle.....	43
Lampiran 4.12. grafik korelasi tegangan fasa 4 coil dengan electrical angle.....	44
Lampiran 4.13. Tegangan antar fasa dan tegangan DC umbrella 8o tanpa fillet.....	45
Lampiran 4.14. Tegangan antar fasa dan tegangan DC umbrella 8o dengan fillet.....	46
Lampiran 4.15. Tegangan antar fasa dan tegangan DC umbrella 10o tanpa fillet.....	47
Lampiran 4.16. Tegangan antar fasa dan tegangan DC umbrella 10o dengan fillet.....	48
Lampiran 4.17. Grafik korelasi tegangan antar fasa terhadap electrical angle.....	49
Lampiran 4.18 Harmonisa pada umbrella 8° tanpa fillet.....	50
Lampiran 4.19 Harmonisa pada umbrella 8° degan fillet.....	51
Lampiran 4.20 Harmonisa pada umbrella 10o tanpa fillet.....	52
Lampiran 4.21 Harmonisa pada umbrella 10o dengan fillet.....	53
Lampiran 4.22. torsi generator.....	54

BAB 1.PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan primer dalam kehidupan modern dewasa ini. Kebutuhan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan 7% per tahunnya. Daya yang tersambung pada pelanggan tahun 2017 mencapai 114.347,64 MVA. Konsumsi energi listrik terbesar diserap oleh rumah tangga sebesar 55.284,57 MVA. Pulau Jawa menduduki peringkat pertama dalam hal konsumsi energi listrik yaitu sebesar 78.900,19 MVA dari total 114.347,64 MVA (Statistik Ketenagalistrikan T.A, 2018).

Energi listrik dihasilkan dari mesin-mesin pembangkit listrik, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) memanfaatkan tenaga angin yang dikonversi menjadi energi listrik. Bagian utama PLTB adalah turbin angin, generator, *blade*, *cone*, *fin*, dan ekor (LAN,2014)

Magnet Permanen merupakan bagian elemen generator. Fungsi dari *permanent magnet* sebagai penghasil medan magnet (Handersoot dan Miller, 1994). *Output* dari generator berupa tegangan dan terdapat distorsi gelombang yang menyebabkan grafik fungsi yang dihasilkan mengalami penyimpangan siklus. Penyimpangan siklus yang disebabkan oleh distorsi ini disebut harmonisa. Harmonisa menyebabkan kerugian tegangan, menyebabkan *overheat* dan kegagalan fungsi pada alat-alat elektomagnetik (Nugroho,2007).

Rizky, (2007) meneliti tentang *concentrated winding dan distributed winding* generator sinkron satu fasa terhadap *tooth harmonic* pada gelombang tegangan. Hasil yang diperoleh yaitu *concentrated winding* menghasilkan *output* tegangan yang paling besar, *distributed winding* menghasilkan gelombang yang lebih baik. Beban resistif tidak berpengaruh terhadap pembentukan gelombang keluaran generator sinkron, adanya beban kapasitif akan memperbaiki bentuk gelombang dan beban induktif gelombang akan menjadi lebih terdistorsi. Kutt: dkk,

(2016) melakukan penelitian tentang generator sinkron dalam kondisi terbebani dan tanpa beban terhadap *Concidering Harmonic Dstortion (CHD)* generator sinkron menggunakan simulasi FEM (*Finite Elemen Methode*). Hasil yang diperoleh yaitu *harmonic distortion* yang disebabkan oleh saturasi sinkron tidak seragam dengan kutub.

Anirban dkk, (2016) melakukan penelitian tentang *harmonic mitigation* yang terjadi pada generator. *Harmonic mitigation* terjadi karena stator terhubung langsung pada *grid* yang terhubung langsung dengan beban non-linier. Penelitian ini menggunakan simulasi *Matlab* untuk menjaga jaringan yang terhubung dengan generator induksi. Penelitian ini berguna untuk mempertahankan standar yang berkaitan dengan kualitas daya. Adson:dkk (2017) meneliti tentang pengaruh system kontrol aktif dan reaktif terhadap *filter* harmonisa menggunakan metode simulasi CGS. Hasil yang diperoleh yaitu spektrum hamonisa pada arus dengan menggunakan arus yang terkompensasi mengurangi nilai *total harmonic distorsion* (THD). Wagner; dkk (2017) meneliti tentang efek harmonisa yang terjadi karena beban non linier generator sinkron tenaga angin dengan metode *computational simulation*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada keadaan *steady stead non-sinusoidal* torsi elektromagnetik osilasi yang terjadi sebesar 16% , melebihi kapasitas yang telah ditentukan. Grabe;dkk (2015) meneliti tentang pengaruh dimensi *slot* pada stator terhadap kinerja generator menggunakan FEM. Analisa FEM menghasilkan kesimpulan bahwa efisiensi generator naik 11% saat *slot* diperkecil 2 mm.

Umbrella merupakan bagian dari stator. Salah satu software analisis simulasi generator adalah *software MagNet*. Persentase harmonisa yang ada pada generator dapat dilihat dengan menggunakan metode *Fast Furier Transform* (FFT). FFT merupakan algoritma yang digunakan untuk mempresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi (Handersoot dan Miller, 1994).

Peneitian ini menggunakan panjang *umbrella* 8° dan 10°, karena percobaan sebelumnya menunjukkan bahwa *umbrella* 8° dan 10° memiliki nilai tegangan *output* generator dan kandungan harmonisa yang lebih baik dibandingkan dengan panjang *umbrella* 12° dan *umbrella full*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan kajian pustaka tersebut di atas, maka dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut “Bagaimana pengaruh geometri *umbrella* terhadap nilai kandungan harmonisa, kerapatan *fluks*, nilai tegangan *output*, konsentrasi tegangan, dan torsi generator”

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah generator 12 *Slot* 8 *Pole* di PT. Lentera Bumi Nusantara, Tasikmalaya, Jawa Barat.
2. Tidak membahas pengaruh lilitan pada generator.
3. Tidak membahas losses yang terjadi.
4. Simulasi tidak menggunakan *transient solving*.
5. Simulasi dilakukan seperempat model.

1.4. Tujuan penelitian

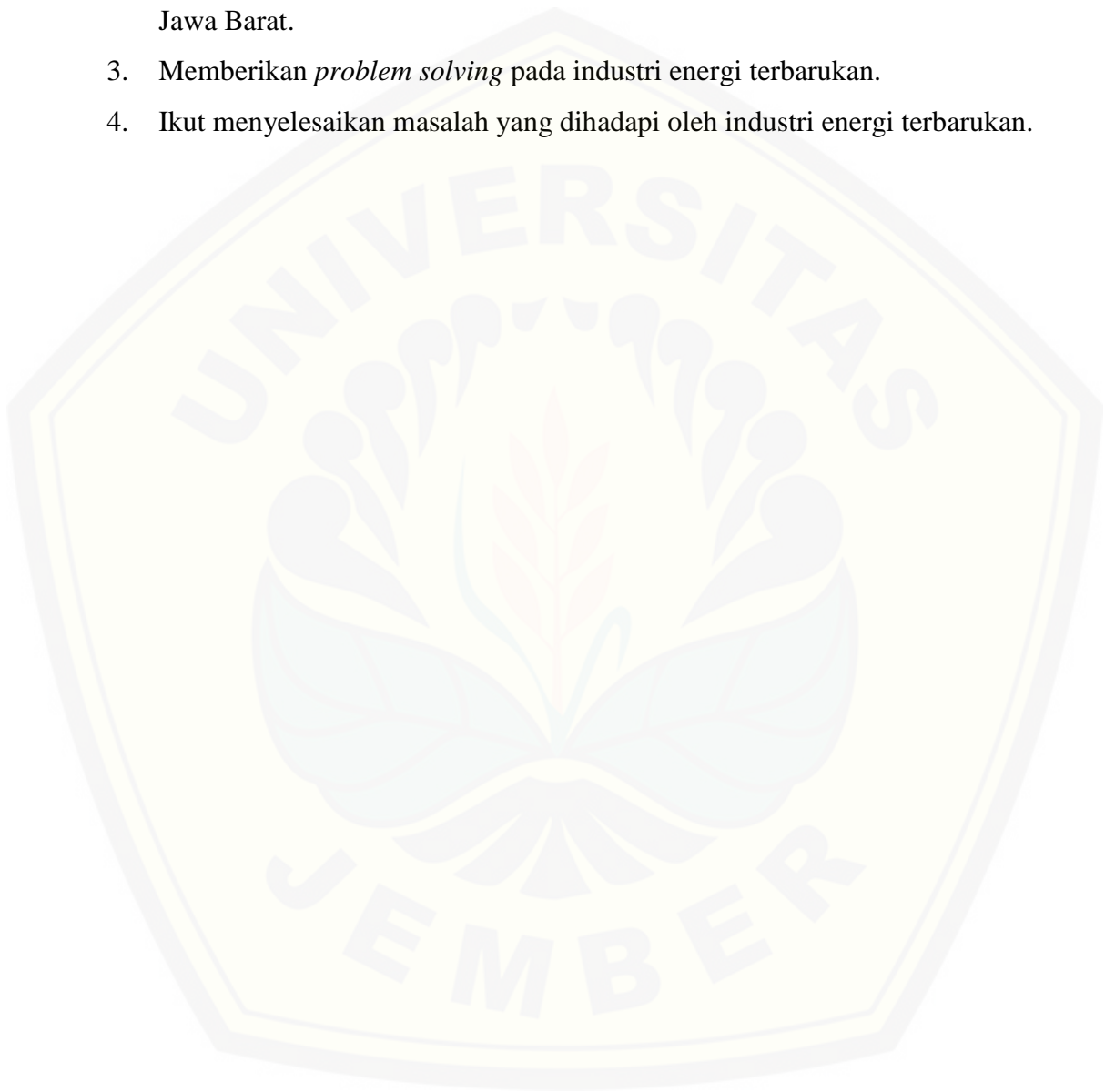
Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh geometri *umbrella* terhadap kandungan harmonisa pada generator.
2. Untuk mengetahui pengaruh geometri *umbrella* terhadap nilai kerapatan *fluks*.
3. Untuk mengetahui pengaruh geometri *umbrella* terhadap tegangan output generator.
4. Untuk mengetahui pengaruh geometri *umbrella* terhadap konsentrasi tegangan.
5. Untuk mengetahui pengaruh geometri *umbrella* terhadap torsi generator.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendukung pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan
2. Membantu penyelesaian masalah di PT. Lentera Bumi Nusantara Tasikmalaya, Jawa Barat.
3. Memberikan *problem solving* pada industri energi terbarukan.
4. Ikut menyelesaikan masalah yang dihadapi oleh industri energi terbarukan.



BAB 2. LANDASAN TEORI

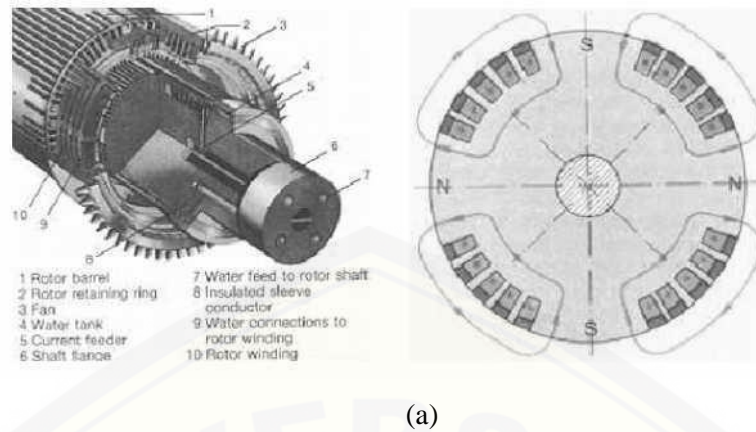
2.1. Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan alat yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Jumlah putaran rotor sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Generator sinkron menghasilkan tegangan bolak balik (AC), sehingga sering disebut generator AC. Medan magnet pada generator diperoleh dari magnet permanent yang berada pada rotor. Konstruksi generator sinkron terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian diam yang menerima dan mengeluarkan tegangan AC. Rotor adalah bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet dan diinduksikan ke stator (Phraba, 1994). Stator terdapat umbrella yang memiliki fungsi:

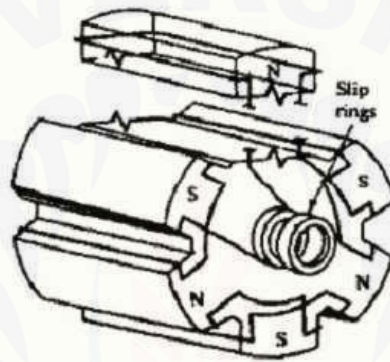
- a) Penyangga coil atau kumparan yang dililitkan pada bagian *teeth*.
- b) Penangkap aliran *fluks* berlebih (Mawahib.M dan Tio.A.M, 2016)

2.1.1. Konstruksi Generator Sinkron

Rotor digerakkan dengan penggerak mula untuk menghasilkan medan magnet putar pada generator. Perputaran tiga fasa menghasilkan tegangan melalui lilitan stator pada generator. Lilitan pada generator sinkron terdapat dua macam yaitu *Field Winding* dan *Armature Winding*. *Field Winding* digunakan untuk menghasilkan medan magnet pada mesin. *Armature Winding* digunakan untuk belitan dimana tegangan diinduksikan. Magnet pada *pole* rotor terdapat dua model yang dapat diterapkan yaitu *salient pole* dan *non-salient pole*. *Salient pole* digunakan untuk rotor dengan empat atau lebih kutub. Pemilihan konstruksi rotor tergantung putaran rotor frekuensi dan rating daya generator. Generator dengan kecepatan diatas 1500 rpm pada frekuensi 50 Hz dan daya sekitar 10 MVA menggunakan rotor silinder. Daya motor dibawah 10 MVA dan kecepatan rendah digunaka rotor *silient pole* (Chapman, 2012).



(a)



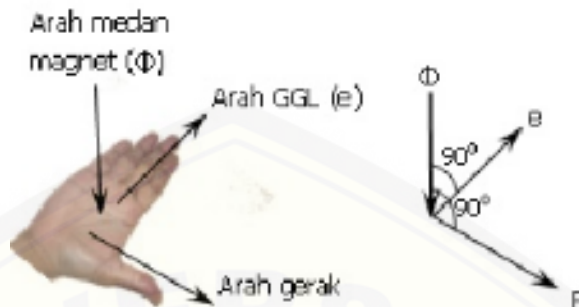
(c)

Gambar 2. 1 (a) Bentuk rotor *non-salient pole*, (b) bentuk rotor *salient pole* (J.Chapman Stephen, 2012)

2.1.2. Gaya Gerak Listrik (GGL)

Prinsip kerja generator dalam mengkonversi energi berdasarkan hukum Faraday yang menjelaskan bahwa seutas kawat atau kumparan konduktor berada dalam medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, maka pada ujung-ujung kawat atau konduktor akan timbul tegangan atau gaya gerak listrik (GGL) induksi. Perubahan medan magnet menghasilkan arus listrik, arus listrik mengalir apabila terdapat sumber tegangan dapat dikatakan bahwa perubahan medan magnet menghasilkan gaya gerak listrik (GGL). Arus dan GGL yang timbul pada perubahan medan magnet disebut dengan induksi elektromagnetik (Issetyorini dan Antono, 2012)

Arag gerak GGL induksi yang terjadi ditunjukkan dengan aturan tangan kanan.



Gambar 2. 2 Aturan tangan kanan (Issetyorini dan Antono, 2012)

Ibu jari pada Gambar 2.2 diatas menunjukkan arah gerak pengantar (F). Garis yang menembus telapak tangan kanan adalah garis gaya magnet dan empat jari tangan menunjukkan GGL induksi yang terjadi (e) (Issetyorini dan Antono, 2012)

2.1.3. Kecepatan Putar dari Generator Sinkron

Generator sinkron berarti frekuensi listrik yang dihasilkan terkunci atau tersinkronisasi dengan laju rotasi genartor secara mekanis. Magnet pada generator menghasilkan medan magnet dan diinduksinkan ke stator. Titik medan magnet rotor mengarah kearah motor berputar. (Chapman, 2012). Frekuensi generator dapat dihitung dengan Persamaan 2.1. berikut:

$$f = \frac{n.P}{120} \quad (2.1)$$

Keterangan:

f = Frekuensi (Hz)

n = Putaran rotor

P = Jumlah kutub

Persamaan 2.1 menghubungkan kecepatan rotasi rotor dengan frekuensi listrik yang dihasilkan, karena putaran motor sama dengan medan magnet. Listrik dihasilkan pada kecepatan 50 atau 60 Hz, sehingga putaran generator tergantung pada jumlah *pole* pada generator (Chapman, 2012).

2.1.4. Tegangan pada Generator Sinkron

Tegangan pada generator sinkron tergantung pada *fluks* pada mesin, putaran rotor dan konstruksi pada mesin. Tegangan internal yang diperoleh berbanding lurus dengan fluks dan putaran rotor. Fluks yang diperoleh bergantung pada arus yang mengalir pada sirkuit medan rotor (Chapman, 2012).

2.1.5. *Mechanical Angle* dan *Electrical Angle*

Generator tiga fasa medan magnet yang dihasilkan memiliki perbedaan 120° . Grafik fluks generator tiga fasa juga memiliki perbedaan 120° . Besar sudut yang ditempuh rotor disebut *mechanical angle*. Besar sudut yang ditempuh oleh medan magnet disebut *electrical angle*. *Mechanical angle* dan *electrical angle* memiliki perbandingan sesuai dengan jumlah pasang kutubnya. Generator *12 Slot 8 Pole* tiga fasa memiliki empat pasang magnet. Empat pasang magnet ini menyebabkan perbandingan antara *mechanical angle* dan *electrical angle* 1:4, apabila rotor bergerak 90° maka medan magnet bergerak 360° (Iswadi.H , 2014., Whilley.J dan Sons, 2004).

2.2. Harmonisa

Magnet saat rotor berputar akan menghasilkan medan magnet. Perpindahan medan magnet akan menyebabkan adanya gaya tarik antara rotor dan stator. Gaya tarik antara stator dan rotor menyebabkan adanya getaran. Rotor ketika berputar memiliki frekuensi tersendiri. Getaran antara gaya tarik rotor dan stator menyatu dengan getaran pada rotor sehingga terjadi distorsi. Distorsi akan menyebabkan adanya frekuensi yang berbeda-beda dan menyatu, sehingga terjadi penyimpangan gelombang pada *fluks linkage*. *Fluks linkage* adalah jumlah *fluks* yang disalurkan pada *coil* persatuan waktu (Crawford.R.A dan Crawford S. 1992)

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi akibat terjadinya distorsi pada gelombang arus dan tegangan. Harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda-beda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut dengan urutan harmonisa atau orde harmonisa. Kelipatan frekuensi dari harmonisa ini kemudian menyatu dengan gelombang dasar/murni, sehingga terbentuk distorsi

gelombang yang merupakan jumlah antara gelombang murni dengan gelombang harmonisanya (Alamsyah, 2012).

Orde harmonisa dapat dicari dengan persamaan 2.2. (Alamsyah, 2012).

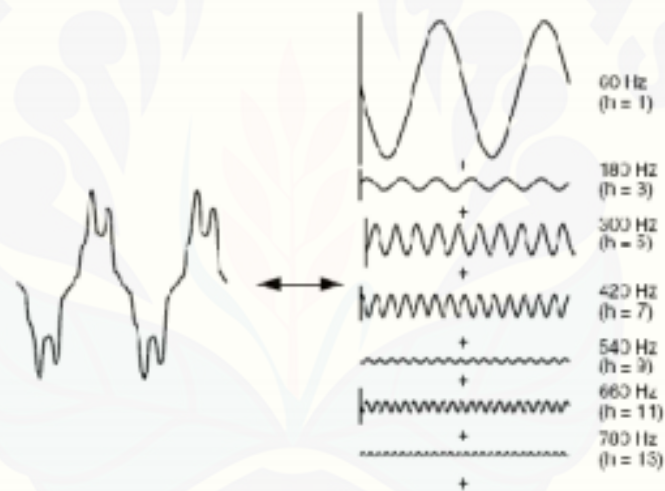
$$n = \frac{Fn}{F} \quad (2.2)$$

Keterangan:

n = Orde Harmonisa

F_n = Frekuensi Harmonisa (Hz)

F = Frekuensi fundamental (Hz)



Gambar 2. 3 Bentuk gelombang yang terdistorsi akibat harmonisa (Alamsyah, 2012).

Gangguan harmonisa dalam arus menyebabkan hasil daya generator berkurang. Terdapat berbagai kerugian dari harmonisa ini diantaranya , efek kulit penghantar (*Skin effect*) dan efek dari kedekatan penghantar (*Proximity effect*) (Alamsyah, 2012).

a. Efek Kulit Pengantar (*Skin effect*)

Skin effect merupakan akibat dari adanya distribusi arus dipermukaan lebih besar dari pada yang ada di dalam penghantar yang mengakibatkan tahanan efektif sistem meningkat. Kenaikan dari *skin effect* dipengaruhi oleh kenaikan dari

frekuensi dan diameter pengantar yang digunakan dalam system distribusi arus (Alamsyah, 2012).

b. Efek Kedekatan (*Proximity effect*).

Proximity effect disebabkan oleh adanya medan magnet penghantar mengganggu distribusi arus pada penghantar-penghantar yang berdekatan. (Alamsyah, 2012).

2.3. *Fast Furier Transform (FFT)*

FFT adalah suatu algoritma algoritma untuk menghitung transformasi *fourier diskrit* dengan cepat. FFT merupakan metode transformasi sinyal dalam domain frekuensi. (Sipasulta;dkk, 2014). Prinsip kerja FFT adalah membagi sinyal hasil penyamplingan menjadi beberapa bagian dan kemudian masing-masing bagian diselesaikan dengan algoritma dan kemudian hasilnya dikumpulkan kembali. FFT merupakan turunan dari *Discreate Fourier Transform (DFT)*. DFT merupakan metode untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke frekuensi. (Riyanto, Purwanto, Supradi, 2009).

FFT bersifat *reversibel*, yaitu fungsi dapat ditransformasikan kedalam domain frekuensi dan diinversikan lagi ke domain waktu, namun kedua informasi tersebut tidak bisa didapatkan secara bersamaan. *Resprentasi* fungsi tidak memuat waktu dan sebaliknya. Komputasi FFT memiliki jumlah yang lebih sedikit dari jumlah komputasi DFT. DFT akan menghasilkan jumlah komputasi N^2 dan FFT menghasilkan jumlah komputasi sebesar $(N) \log_2 (N)$, sehingga FFT menjadi metode praktis dari FFT untuk jumlah N yang besar (Noya, Rumlawang, dan Lesnussa, 2014).

Transformasi FFT didefinisikan sebagai berikut pada Persamaan 2.3 berikut (Riyanto.S, Purwanto.A, Supardi, 2009):

$$\begin{aligned} x(f) &= \int x(t) e^{-j2\pi ft} dt \\ &= \int x(t) \cos(2\pi ft) dt - j \int x(t) \sin(2\pi ft) dt \end{aligned} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$x(t)$ = Fungsi sinyal dalam domain waktu

$e^{-j2\pi ft}$ = fungsi kernel

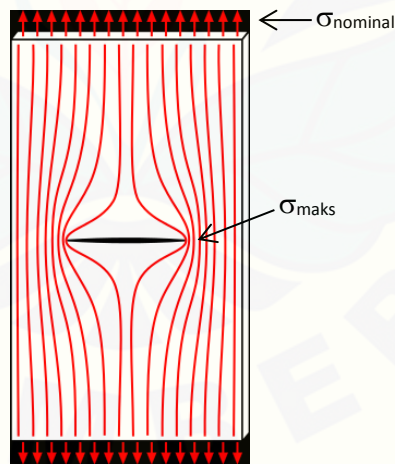
$x(f)$ = Fungsi dalam domain frekuensi

f = frekuensi.

2.4. Konsentrasi Tegangan

Konsentrasi tegangan terjadi pada daerah yang dimensinya berubah drastis, misalnya di sekitar lubang, *discontinuity*, *defect* dan lain sebagainya. Komponen yang memiliki bentuk penampang yang rumit menyebabkan tegangan menjadi tidak teratur. Konsentrasi tegangan merupakan perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan nominal yang dapat dituliskan dengan persamaan 2.4. (Ishworo, 2018)

$$K_t = \frac{\sigma_{maksimum}}{\sigma_{nominal}} \quad (2.4)$$



Gambar 2. 4. Konsentrasi tegangan pada plat yang memiliki lubang

2.5. Torsi Generator (τ)

Torsi adalah kemampuan sebuah gaya untuk membuat benda melakukan gerak rotasi. Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja. Besaran torsi adalah besaran turunan yang digunakan untuk menghitung energi

yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Adapun perumusannya pada persamaan 2.5 (Murdiyanto, 2016) :

$$T = F \times r \quad (2.5)$$

Keterangan:

T = torsi (N.m)

F = gaya (N)

r = jarak benda ke pusat rotasi (m)

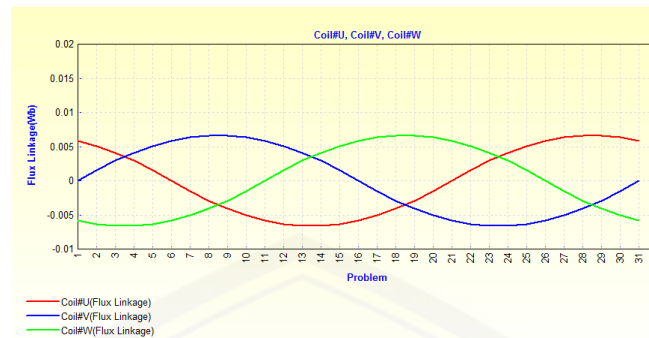
2.6. *Software MagNet*

MagNet merupakan *software* yang digunakan untuk membuat model dari bahan magnetik dan gulungan, tampilan dalam bentuk model 3D dan grafik, dan mendapatkan nilai numerik untuk jumlah seperti hubungan fluks dan gaya. *MagNet* dirancang sebagai alat pemodelan 3D lengkap untuk memecahkan masalah elektromagnetik yang dapat melibatkan medan magnet statik, medan magnet dan arus *Eddy*, dan kondisi sementara dengan gerakan bagian perangkat (Edward, 2014).



Gambar 2. 5 Ikon *software MagNet* (Edward, 2014).

Hasil dari simulasi generator pada *MagNet* berupa grafik dan data. Keberhasilan pada *MagNet* dapat dilihat dari bentuk grafik yang dihasilkan. Bentuk grafik yang benar berupa grafik sinusoidal, apabila bentuk grafik tidak sinusoidal, maka terdapat kesalahan ketika pemodelan (Edward, 2014).



Gambar 2. 6 Hasil grafik simulasi pada *MagNet*

2.7. Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah dan ladsan teori diperoleh hipotesis bahwa harmonisa dipegaruhi oleh bentuk *umbrella*. Semakin pendek geometri *umbrella*, kadungan harmonisa akan semakin sedikit dan pemberian *fillet* pada *umbrella* akan mengurangi persentase kandugan harmonisa sehingga nilai tegangan akan semakin berkurang dengan semakin banyaknya kandugan harmonisa. Adanya penambahan *fillet* pada *umbrella* stator akan mengurangi konsentasi tegangan pada *umbrella*.

BAB 3. METODOLOGI

3.1. Tempat Penelitian

Penelitian tentang pengaruh geometri *umbrella* pada generator 12 Slot 8 Pole dilaksanakan di:

- a) **Laboratorium Disain**, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember (untuk analisis *fluks linkage*, tegangan dan harmonisa)
- b) **PT. Lentera Bumi Nusantara**, Tasikmalaya, Jawa Barat (untuk analisis dimensi dan material generator).

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat pendukung dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a) Laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Prosesor: Intel BYT-M 2 Core 2840.up to 2,56 GHz
 - RAM: 2 GB
 - Rating : 4,3 Windows experience index
 - Tipe sistem : 32-bit operating system
 - ODD : DVD Sup.MTI Ware nty
 - HDD : 500 GB
- b) Modul motor dan generator PT.Lentera Bumi Nusantara, Tasikmalaya, Jawa Barat.

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dari berbagai buku, jurnal ilmiah dan hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan generator, harmonisa serta *Fast Furier Transform* (FFT).

b. Simulasi dengan *software MagNet*

Simulasi dengan *software MagNet* dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

- 1) Membuat desain 2D generator seperempat model.
- 2) Membuat model 3D generator seperempat model.
- 3) Melakukan meshing pada komponen-komponen generator
- 4) Melakukan *solving*.

Data yang dihasilkan dari simulasi *software MagNet* berupa nilai *fluks linkage* (ϕ) dan arus (A) serta grafik *fluks linkage* (ϕ) dan arus (A). Hasil data yang diperoleh kemudian diolah lagi pada *Microsoft Excel* untuk memperoleh nilai harmonisa pada masing-masing model.

c. Analisis Hasil Penelitian

Hasil data berupa tegangan selanjutnya diolah dengan menggunakan metode FFT dan diwujudkan dalam bentuk grafik, yaitu:

- 1) Grafik korelasi *fluks linkage* (ϕ) terhadap *electrical angle*.
- 2) Grafik korelasi tegangan *coil* terhadap *electrical angle*.
- 3) Grafik korelasi tegangan antar fasa satu *coil* terhadap *electrical angle*.
- 4) Grafik korelasi tegangan antar fasa empat *coil* terhadap *electrical angle*.
- 5) Grafik korelasi tegangan generator terhadap *electrical angle*.

Berdasarkan analisis seluruh data pada grafik tersebut di atas, akan dicari sebagai berikut:

- 1) Model *umbrella* yang paling kecil kandungan harmonisanya.
- 2) Pengaruh harmonisa terhadap torsi generator.
- 3) Analisis geometri *umbrella* terhadap konsentrasi tegangan.
- 4) Analisis geometri *umbrella* terhadap konsentrasi torsi.

d. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian diperoleh berdasarkan kajian pustaka, kajian teori dan analisis hasil simulasi.

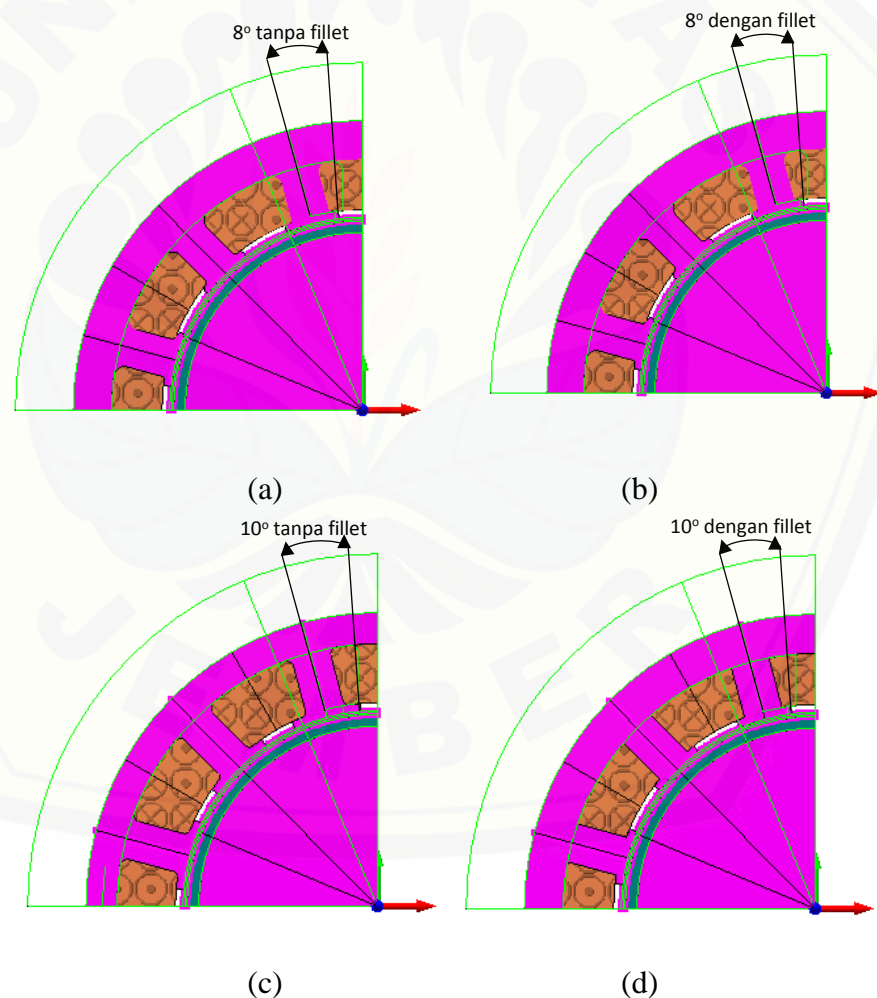
3.4. Variabel Pengujian

3.4.1. Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau menjadi penyebab terjadinya variabel lain. Variabel bebas dalam penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut :

- 1) $U_{8\text{-tanpa fillet}}$ = *Umbrella* 8° tanpa *fillet*.
- 2) $U_{8\text{-dengan fillet}}$ = *Umbrella* 8° dengan *fillet*.
- 3) $U_{10\text{-tanpa fillet}}$ = *Umbrella* 10° tanpa *fillet*.
- 4) $U_{10\text{-dengan fillet}}$ = *Umbrella* 10° dengan *fillet*.



Gambar 3.1. Gambar penampang melintang generator seperempat model (a) $U_{8\text{-dengan fillet}}$ (b) $U_{8\text{-tanpa fillet}}$ (c) $U_{10\text{-dengan fillet}}$ (d) $U_{10\text{-tanpa fillet}}$

b. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat yang berhubungan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

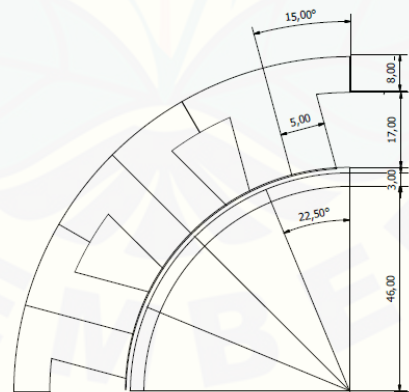
- 1) Keraatan fuks (B)
- 2) Harmonisa
- 3) Konsentrasi Tegangan (Kt)
- 4) Tegangan outut generator (V)
- 5) Torsi generator (τ)

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dibuat konstan, sehingga hubungan variabel terikat dan variabel bebas tidak terpengaruh. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah

- 1) arah putaran motor.
- 2) Dimensi generator.

Data dimensi generator 12 Slot 8 Pole diperoleh dari PT. Letera Bumi Nusantara, Gambar 3.2. menunjukkan dimensi dari generator:



Gambar 3.2. Dimensi generator 12 Slot 8 Pole

3) Material Generator

Data material generator 12 Slot 8 Pole diperoleh dari PT, Lentera Bumi Nusantara. Material komponen generator 12 Slot 8 Pole ditampilkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Material dari komponen generator 12 Slot 8 Pole

No	Nama	Material
1	Coil	Copper 5.77e7 siemens/meter
2	Magnet	PM12: Br 1.2 mur 1.0
3	Rotor	Carpentel : Silikon stell
4	Air Gap	Udara
5	Air Box	Udara

3.4.2. Pengambilan Data

Pengambilan data dilaksanakan di PT. Lentera Bumi Nusantara, Tasikmalaya, Jawa Barat yang bergerak dalam pengembangan energi terbarukan dan hasil alam. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Dimensi generator 12 *Slot 8 Pole*.
- b. Material Generator 12 *Slot 8 Pole*.
- c. Jumlah kumparan yang digunakan.
- d. Penentuan mesh pada putaran rotor yang berbeda.
- e. Penentuan fasa pada generator.
- f. Tutorial simulasi generator 12 *Slot 8 Pole*.

3.4.3. Pengolahan Data

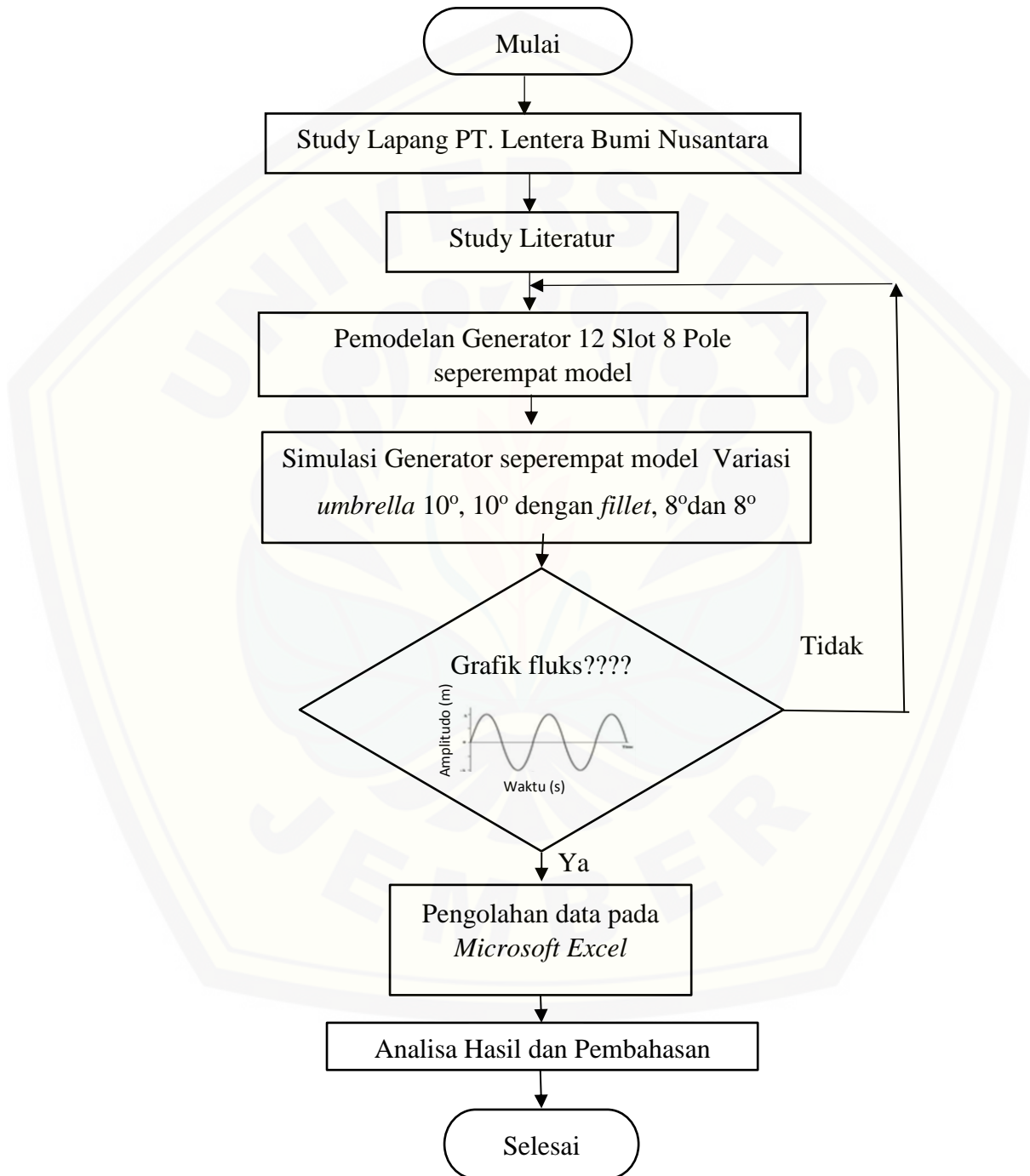
Data yang diperoleh dari hasil simulasi pada *software Magnet* diolah lebih lanjut menggunakan *Microsoft Excel*. Langkah pengolahan data dengan piranti *software Microsoft Excel* terdiri dari:

- a. Pengambilan data *fluks linkage* pada *software MagNet* pada setiap model *umbrella* dan disalin ke *Microsoft Excel*.
- b. Mencari nilai tegangan setiap *coil*.
- c. Mencari nilai tegangan antar fasa.
- d. Mencari tegangan antar fasa empat *coil*.
- e. Mencari nilai tegangan generator.
- f. Mencari nilai tegangan rata-rata generator.
- g. Mencari nilai harmonisa dari data tegangan generator dengan menggunakan metode FFT.
- h. Nilai dan grafik harmonisa dalam bentuk nilai absolut.

- i. Membandingkan & analisis grafik setiap model *umbrella*.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir proses penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan hasil penelitian maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Pengaruh geometri *umbrella* terhadap kandungan harmonisa pada generator *12 Slot 8 Pole* adalah sebagai berikut:
 - a) Kandungan **harmonisa terendah** yaitu dua harmonisa terdapat pada *umbrella* 8° dengan *fillet*.
 - b) Kandungan harmonisa paling tinggi yaitu empat harmonisa terdapat pada *umbrella* 10° tanpa *fillet*.
 - c) Pemberian *fillet* mengurangi 3,75% kandungan harmonisa pada generator.
2. Nilai kerapatan *fluks* magnet (B) yang dihasilkan rotor generator *12 Slot 8 Pole* sebagai berikut:

Tabel 5.1. Nilai kerapatan fluks magnet (B)

Sudut Umbrella (α)	Kerapatan fluks magnet, B (Wb)	
Tanpa fillet	8°	1,717
	10°	2,046
Dengan fillet	8°	1,502
	10°	1,903

Kerapatan *fluks* (B) paling baik yaitu $B = 1,502 \text{ Wb}$ untuk *umbrella* 8° dengan *fillet* sedangkan kerapatan fluks (B) terbesar yaitu $B = 2,046 \text{ Wb}$ pada *umbrella* 10° tanpa *fillet*.

3. Bentuk geometri *umbrella* terhadap mempengaruhi tegangan *output* generator sebagai berikut.

Tabel 5.3. Tegangan Generator (V)

Sudut Umbrella (α)	Tegangan (V)	
Tanpa fillet	8°	218.427
	10°	214.305
Dengan fillet	8°	227.885
	10°	221.834

Tegangan output generator paling baik adalah *umbrella* 8° dengan *fillet* yaitu **V=227.885 Volt** dan lebih tinggi *umbrella* 10° dengan *fillet* dan *umbrella* tanpa *fillet*.

4. Nilai konsentrasi tegangan (K_t) yang pada stator generator *12 Slot 8 Pole* sebagai berikut:

Tabel 5.2. Nilai Konsentrasi tegangan (K_t)

Sudut Umbrella (α)	Konsentrasi tegangan (K_t)	
Tanpa fillet	8°	2,238
	10°	3,084
Dengan fillet	8°	1,870
	10°	2,279

Nilai konsentrasi tegangan stator generator dengan *umbrella* 10° tanpa *fillet* memiliki nilai konsentrasi tegangan paling baik yaitu $K_t = 1,870$ dan Nilai konsentrasi tegangan paling tinggi yaitu $K_t = 3,084$ pada *umbrella* 8° dengan *fillet*.

5. Bentuk geometri *umbrella* terhadap torsi generator berdasarkan penelitian sebagai berikut.

Tabel 5.4. Torsi Generator

Sudut Umbrella (α)	Torsi (Nmm)	
Tanpa fillet	8°	0,538
	10°	0,967
Dengan fillet	8°	0,530
	10°	0,849

Torsi paling baik adalah *umbrella* 8° dengan *fillet* yaitu $T = 0,530 \text{ Nmm}$ dan torsi paling tinggi adalah *umbrella* 10° tanpa *fillet* yaitu $T = 0,967 \text{ Nmm}$.

5.2. Saran

Saran yang dapat disampaikan pada penelitian berikutnya adalah:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh penggunaan material yang berbeda antara *umbrella* dan *teeth*.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh jumlah *airgap* yang digunakan.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh simulasi torsi saat menggunakan *transient solve*.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh sudut *umbrella* terhadap konsentrasi tegangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, Reza Perkasa. 2012. Analisis Pengaruh Beban Harmonisa (Lampu Hemat Energi) Terhadap Konduktor. Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia
- Budiutomo, Wahyu Eko. 2008. Pengaruh Pembebanan Lampu Hemat Energi Terhadap Karakteristik Harmonik Generator Induksi 3 Fase Tereksitasi Diri. *Skripsi*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Chapman, J Stephen. 2012. *Electric Machinery Fundamental*. McGraw-Hill. New York.
- Crawford.R.A., Crawford S. 1992. *The Simplified Handbook of Vibration Analysis*. CSI. USA.
- Direktorat Jendral Ketenagalistrikan KESDM. 2018. Statistik Ketenagalistrikan 2017.
- Edward, J.D. 2014. *An Introduction to MagNet for Static 2D Modeling*. Documentation Departement Infolitica Corporation. Canada.
- Faizin.A. 2011. Analisis Konsentrasi Tegangan Pada Gelagar Berlubang Menggunakan Pemodelan Dan Eksperimen. Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
- Handershot, J. R dan Miller, THE. 1994. *Design of Brushless Permanent-Magnet Motor*. united Kingdom. Clarendon Press Oxford.
- Issetyorini, Apik dan Antono, Djodi. 2012. Gaya Gerak Listrik Pada Motor AC. Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Semarang.
- Isworo.H. 2018. Buku Ajar Mekanika Kekuatan Material 1 HMKK319. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Unuversitas Lambung Mangkurat.
- Kundur, Prabha. 1994. *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Kutt, F., Michna, M. G. dan Ronkowski, M. 2016. *Modelling of steady state and transient performance of the synchronous generator considering harmonic distortions caused by non-uniform saturation of the pole shoe*. *Electric Power System Reseach*. Poland
- LAN. 2014. Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Eenergi Angin. Tasikmalaya

- Mårten, Grabbe., Eriksson, Sandra dan Leijon, Mats. 2015. *On the Stator Slot Geometry of a Cable Wound Generator for Hydrokinetic Energy Conversion*. Hindawi Publishing Corporation. Sweden.
- Mawahib,M., dan Tio,A,M., 2016. Pengaruh *Umbrella* Terhadap Motor. Lentera Angin Nusantara. Tasikmalaya.
- Mishra, Anirban , Tripati, P.M., dan Chatterje, Kaylan. 2017. *A review of harmonic elimination techniques in grid connected doubly fed induction generator based wind energy system. Reneible and Sustainble energy*. India
- Moreira, B Adson., Barros, A.S Tarcio., Teixeira, S.C Vanessa., dan Ruppert, Ernesto. 2017. *Power Control For Wind Power Generation And Current Harmonic Filtering With Doubly Fed Induction Generator. Renewable Energy*. Brazil
- Noya, H. P. Vendira., Rumlawang, F.Y., Lesnussa ,Y. A. 2014. Aplikasi Transformasi Fourier untuk Menentukan Periode Curah Hujan (Studi Kasus: Periode Curah Hujan di Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku). *Jurnal Matematika Integratif*. Ambon
- Nugroho, Rizky Adhi. 2017. Studi Profil Tegangan Keluaran Generator Sinkron 1 Fasa Pada Dissectible Machine Model 62-005 Buatan Feedcack. *Tesis*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Nusyirwan. 2018. Analisis untuk Menentukan Faktor Konsentrasi Tegangan dengan Eksperimental dan Metode Elemen Hingga. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas.
- Purnowidodo. A., Wahjudi. A., Prawira. R., 2011. Analisa Kegagalan Pada *Spindle* Mesin *Batch Centrifugal*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Raharjo.E.T., Soeweify., Yulianto.T. 2012. Analisa Perambatan Retak pada Bagian Poros KM. Surya Tulus Akibat Torsi dengan Metode Elemen Hingga. Teknik Perkapalan, Jurusan Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Rens, J., Jacobs.S., Vandenbossche.L., *Attrazic. E. Effect of Stator Segmentation on the Performance of IPM Machine using iCARE Electrical Stell. World Electrical Vehicle Journal*. Canada
- Riyanto, Sugeng., Purwanto, Agus dan Supradi. 2009. *Algoritma Fast Fourier Transform (Fft) Decimation In Time (Dit) Dengan Resolusi 1/10 Hertz*. Universitas Negeri Yogyakarta.

Vanco. Wagner E. Silva, Fernando B. Monteiro, José R.B.A. de Oliveira, José M.M. Alves Antônio C.B. dan Júnior, Carlos A.B. 2017. *Analysis of the oscillations caused by harmonic pollution in isolated synchronous generators. Electric Power System Reseach. Brazil.*

Wiley, J., Sons. 2004. *Operation and Maintenance of Large Turbo Generators. Inc.*



LAMPIRAN

Lampiran 4.1. Data *fluks linkage* pada umbrella 8° tanpa fillet

FLUX LINKAGE					
No	MECH.ANGLE	ELEC.ANGLE	U	V	W
1	0	0	0.065189216	-6.79E-05	-0.06512075
2	3	12	0.056987027	0.014532276	-0.06936928
3	6	24	0.04511008	0.029241099	-0.07099329
4	9	36	0.029241483	0.045109671	-0.07099352
5	12	48	0.014535273	0.056986466	-0.06937203
6	15	60	2.00E-06	0.065223572	-0.06522825
7	18	72	-0.01453074	0.069373751	-0.05698884
8	21	84	-0.02924228	0.071001499	-0.04511143
9	24	96	-0.04510909	0.070992891	-0.02924695
10	27	108	-0.05698717	0.06937434	-0.01453147
11	30	120	-0.06522584	0.065220746	1.65E-06
12	33	132	-0.06937074	0.05698468	0.014534475
13	36	144	-0.07099647	0.045111686	0.029240327
14	39	156	-0.07101231	0.029252107	0.045114911
15	42	168	-0.0693682	0.014530751	0.056988036
16	45	180	-0.06520102	-4.66E-07	0.06520206
17	48	192	-0.05698304	-0.01453329	0.069368477
18	51	204	-0.04511369	-0.02925245	0.071011477
19	54	216	-0.02924099	-0.04510821	0.070992152
20	57	228	-0.0145291	-0.05699179	0.069372146
21	60	240	8.37E-07	-0.06522527	0.065222278
22	63	252	0.014531088	-0.06937603	0.056989143
23	66	264	0.029253818	-0.07102087	0.045117512
24	69	276	0.045110292	-0.07100418	0.029245075
25	72	288	0.056990379	-0.06937613	0.014529879
26	75	300	0.065222109	-0.06522377	-5.69E-07
27	78	312	0.069372653	-0.05699142	-0.01453012
28	81	324	0.070998807	-0.04511125	-0.02924341
29	84	336	0.070998496	-0.02924734	-0.04510694
30	87	348	0.069393505	-0.01454235	-0.05699738
31	90	360	0.065199024	5.49E-07	-0.06519983

Lampiran 4.2. Data *fluks linkage* pada umbrella 8° dengan *fillet*

FLUX LINKAGE					
No	MECH.ANGLE	ELEC.ANGLE	U	V	W
1	0	0	0.068038	2.20E-05	-0.06806
2	3	12	0.059766	0.0156	-0.07369
3	6	24	0.047828	0.031734	-0.07683
4	9	36	0.031777	0.047789	-0.07683
5	12	48	0.015616	0.059744	-0.07369
6	15	60	1.24E-05	0.068041	-0.06805
7	18	72	-0.01559	0.073676	-0.05976
8	21	84	-0.03175	0.076835	-0.04781
9	24	96	-0.0478	0.076834	-0.03175
10	27	108	-0.05975	0.073675	-0.01559
11	30	120	-6.80E-02	0.068042	1.29E-05
12	33	132	-0.07368	0.059742	0.015626
13	36	144	-0.07683	0.04779	0.031775
14	39	156	-0.07684	0.031737	0.047831
15	42	168	-0.07369	0.015601	0.059768
16	45	180	-0.06805	-7.30E-07	0.068053
17	48	192	-0.05977	-0.0156	0.07369
18	51	204	-0.04783	-0.03173	0.076834
19	54	216	-0.03178	-0.04779	0.076833
20	57	228	-0.01562	-0.05974	0.073679
21	60	240	-2.13E-05	-0.06804	0.068052
22	63	252	0.015597	-0.07369	0.059754
23	66	264	0.031741	-0.07684	0.047801
24	69	276	0.047797	-0.07684	0.031745
25	72	288	0.059747	-0.07368	0.015598
26	75	300	6.80E-02	-0.06804	-1.52E-05
27	78	312	0.07368	-0.05975	-0.01562
28	81	324	0.076835	-0.04779	-0.03177
29	84	336	0.076839	-0.03174	-0.04783
30	87	348	0.073698	-0.01561	-0.05977
31	90	360	0.068056	-3.26E-06	-0.06805

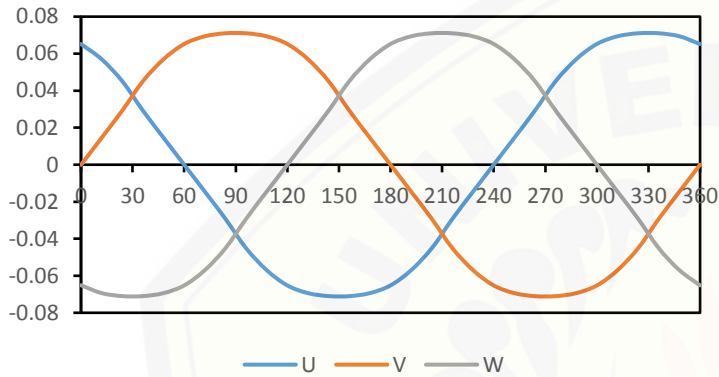
Lampiran 4.3. Data fluks linkage pada Umbrella 10° tanpa fillet

NO	MECH.ANGLE	ELECT.ANGLE	FLUX LINKAGE		
			U	V	W
1	0	0	0.068339	-2.25E-03	-6.65E-02
2	3	12	0.060798	0.01145	-0.07046
3	6	24	0.046804	0.026575	-0.07101
4	9	36	0.03157	0.041621	-0.0709
5	12	48	0.016462	0.056532	-0.07081
6	15	60	2.25E-03	0.066524	-6.83E-02
7	18	72	-0.01145	0.070455	-0.0608
8	21	84	-0.02658	0.071014	-0.0468
9	24	96	-0.04162	0.070903	-0.03157
10	27	108	-0.05653	0.070809	-0.01646
11	30	120	-6.65E-02	0.06834	-2.25E-03
12	33	132	-0.07046	0.060798	0.011451
13	36	144	-0.07102	0.046806	0.026575
14	39	156	-0.0709	0.031572	0.041621
15	42	168	-0.07081	0.016465	0.056531
16	45	180	-0.06834	2.25E-03	6.65E-02
17	48	192	-0.0608	-0.01145	0.070455
18	51	204	-0.04681	-0.02657	0.071014
19	54	216	-0.03157	-0.04162	0.070902
20	57	228	-0.01646	-0.05653	0.070808
21	60	240	-2.25E-03	-0.06652	6.83E-02
22	63	252	0.011452	-0.07046	0.060797
23	66	264	0.026577	-0.07101	0.046804
24	69	276	0.041623	-0.0709	0.031571
25	72	288	0.056532	-0.07081	0.016464
26	75	300	6.65E-02	-0.06834	2.25E-03
27	78	312	0.070456	-0.0608	-0.01145
28	81	324	0.071015	-0.04681	-0.02658
29	84	336	0.070903	-0.03157	-0.04162
30	87	348	0.07081	-0.01646	-0.05653
31	90	360	0.068342	-2.25E-03	-6.65E-02

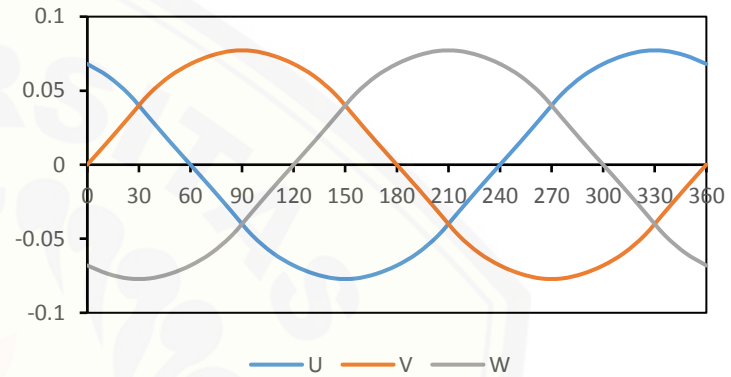
Lampiran 4.4. Data *fluks linkage* pada Umbrella 10° dengan fillet

NO	MECH.ANGLE	ELECT.ANGLE	FLUX LINKAGE		
			U	V	W
1	0	0	0.069423	-2.21E-03	-6.77E-02
2	3	12	0.061552	0.011462	-0.07124
3	6	24	0.04745	0.026728	-0.07179
4	9	36	0.031863	0.042198	-0.07172
5	12	48	0.016477	0.057269	-0.07157
6	15	60	2.21E-03	0.067672	-6.94E-02
7	18	72	-0.01146	0.071242	-0.06155
8	21	84	-0.02673	0.071795	-0.04745
9	24	96	-0.0422	0.071723	-0.03186
10	27	108	-0.05727	0.071572	-0.01648
11	30	120	-6.77E-02	0.069423	-2.21E-03
12	33	132	-0.07124	0.061552	0.011462
13	36	144	-0.07179	0.047452	0.026728
14	39	156	-0.07172	0.031863	0.042199
15	42	168	-0.07157	0.016477	0.057269
16	45	180	-0.06942	2.21E-03	6.77E-02
17	48	192	-0.06155	-0.01146	0.071242
18	51	204	-0.04745	-0.02673	0.071795
19	54	216	-0.03186	-0.0422	0.071723
20	57	228	-0.01648	-0.05727	0.071572
21	60	240	-2.21E-03	-0.06767	6.94E-02
22	63	252	0.011462	-0.07124	0.061552
23	66	264	0.026727	-0.0718	0.047452
24	69	276	0.042199	-0.07172	0.031863
25	72	288	0.057268	-0.07157	0.016477
26	75	300	6.77E-02	-0.06942	2.21E-03
27	78	312	0.071242	-0.06155	-0.01146
28	81	324	0.071795	-0.04745	-0.02673
29	84	336	0.071723	-0.03186	-0.0422
30	87	348	0.071571	-0.01648	-0.05727
31	90	360	0.069423	-2.21E-03	-6.77E-02

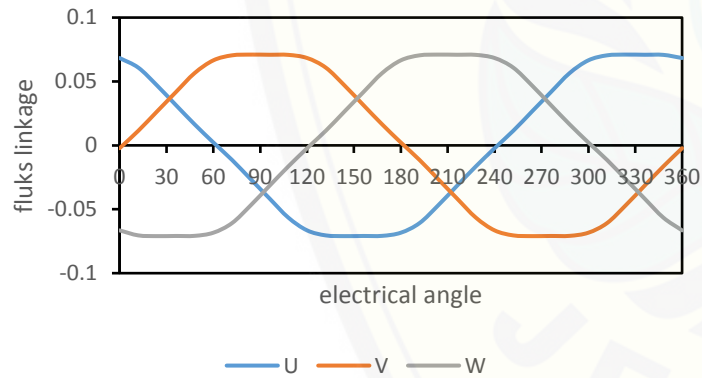
Lampiran 4.5. Grafik korelasi *fluks linkage* terhadap *electrical angle*



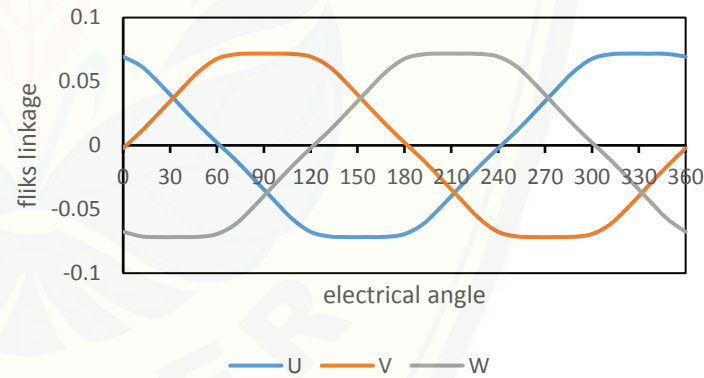
(a) Umbrella 8° tanpa fillet



(b) umbrella 8° dengan fillet



(c) Umbrella 10° tanpa fillet



(c) umbrella 10° dengan fillet

Lampiran 4.6. Tegangan fasa satu coil dan tegangan fasa empat coil umbrella 8° tanpa fillet

TEGANGAN FASA 1 COIL			TEGANGAN FASA 4 COIL		
U	V	W	U	V	W
-16.4044	29.20042	-8.49706	-65.6175	116.8017	-33.9882
-23.7539	29.41765	-3.24803	-95.0156	117.6706	-12.9921
-31.7372	31.73715	-0.00045	-126.949	126.9486	-0.00181
-29.4124	23.75359	3.242968	-117.65	95.01435	12.97187
-29.0666	16.47421	8.28756	-116.266	65.89685	33.15024
-29.0655	8.300358	16.47883	-116.262	33.20143	65.91533
-29.4231	3.255497	23.75481	-117.692	13.02199	95.01923
-31.7336	-0.01722	31.72897	-126.934	-0.06886	126.9159
-23.7562	-3.2371	29.43095	-95.0246	-12.9484	117.7238
-16.4773	-8.30719	29.06625	-65.9094	-33.2288	116.265
-8.28979	-16.4721	29.06564	-33.1592	-65.8885	116.2626
-3.25146	-23.746	29.4117	-13.0058	-94.984	117.6468
-0.03168	-31.7192	31.74917	-0.12672	-126.877	126.9967
3.288211	-29.4427	23.74625	13.15284	-117.771	94.985
8.334359	-29.0624	16.42805	33.33743	-116.25	65.71219
16.43597	-29.0657	8.332836	65.74389	-116.263	33.33134
23.73868	-29.4383	3.285999	94.95474	-117.753	13.144
31.74541	-31.7115	-0.03865	126.9816	-126.846	-0.1546
29.42377	-23.7672	-3.24001	117.6951	-95.0686	-12.96
29.05988	-16.467	-8.29974	116.2395	-65.8678	-33.1989
29.0605	-8.30152	-16.4663	116.242	-33.2061	-65.8651
29.44546	-3.28968	-23.7433	117.7818	-13.1587	-94.973
31.71295	0.033373	-31.7449	126.8518	0.133491	-126.98
23.76017	3.256109	-29.4304	95.0407	13.02444	-117.722
16.46346	8.304714	-29.0609	65.85384	33.21885	-116.244
8.301088	16.46471	-29.0591	33.20435	65.85882	-116.236
3.252307	23.76034	-29.4266	13.00923	95.04136	-117.706
-0.00062	31.72782	-31.727	-0.00249	126.9113	-126.908
-3.20998	29.40998	-23.7809	-12.8399	117.6399	-95.1235
-8.38896	29.0858	-16.4049	-33.5559	116.3432	-65.6196
-16.424	29.06345	-8.33889	-65.696	116.2538	-33.3556

Lampiran 4.8. Tegangan fasa satu coil dan tegangan fasa empat coil umbrella 8° dengan fillet

TEGANGAN FASA 1 COIL			TEGANGAN FASA 4 COIL		
U	V	W	U	V	W
-16.5438	31.15647	-11.2635	-66.1752	124.6259	-45.0539
-23.8768	32.26812	-6.28858	-95.5072	129.0725	-25.1543
-32.1015	32.10876	0.001544	-128.406	128.435	0.006175
-32.3225	23.91005	6.291593	-129.29	95.64019	25.16637
-31.2071	16.5947	11.26703	-124.829	66.3788	45.06814
-31.2133	11.2708	16.5903	-124.853	45.0832	66.36122
-32.3026	6.316809	23.90153	-129.21	25.26724	95.60613
-32.1169	-0.00133	32.12317	-128.467	-0.00531	128.4927
-23.8889	-6.31928	32.30745	-95.5555	-25.2771	129.2298
-16.5917	-11.2654	31.20969	-66.3668	-45.0615	124.8388
-11.273	-16.5994	31.22522	-45.0918	-66.3978	124.9009
-6.30446	-23.9035	32.2995	-25.2179	-95.6141	129.198
-0.00724	-32.1074	32.11186	-0.02898	-128.429	128.4474
6.291924	-32.2712	23.87305	25.1677	-129.085	95.49219
11.27842	-31.2036	16.57099	45.1137	-124.814	66.28397
16.55928	-31.192	11.27326	66.23714	-124.768	45.09305
23.88147	-32.2709	6.287657	95.52587	-129.083	25.15063
32.10104	-32.1077	-0.0022	128.4042	-128.431	-0.0088
32.31556	-23.9154	-6.30789	129.2622	-95.6617	-25.2315
31.20293	-16.5977	-11.2535	124.8117	-66.3907	-45.0141
31.2362	-11.2876	-16.5965	124.9448	-45.1504	-66.3859
32.28917	-6.29757	-23.9059	129.1567	-25.1903	-95.6236
32.1116	-0.00091	-32.1123	128.4464	-0.00364	-128.449
23.90061	6.312885	-32.2929	95.60246	25.25154	-129.172
16.59862	11.2729	-31.2265	66.3945	45.09161	-124.906
11.26565	16.59221	-31.209	45.06262	66.36884	-124.836
6.311252	23.90442	-32.3096	25.24501	95.61766	-129.238
0.007541	32.10562	-32.1046	0.030165	128.4225	-128.418
-6.28266	32.26921	-23.892	-25.1307	129.0769	-95.5682
-11.2825	31.20743	-16.5609	-45.13	124.8297	-66.2436
-16.5803	31.2069	-11.2714	-66.321	124.8276	-45.0856

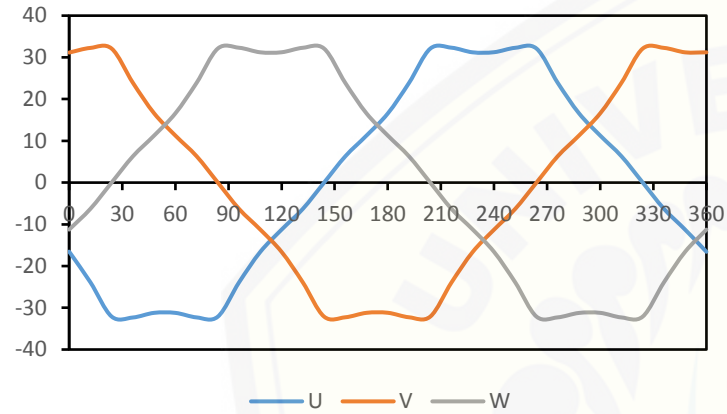
Lampiran 4.9. Tegangan fasa satu coil dan tegangan fasa empat coil umbrella 10° tanpa fillet

TEGANGAN FASA 1 COIL			TEGANGAN FASA 4 COIL SERI		
U	V	W	U	V	W
-15.0824	27.40622	-7.86927	-60.3297	109.6249	-31.4771
-27.9872	30.25033	-1.11963	-111.949	121.0013	-4.4785
-30.4686	30.0906	0.224138	-121.875	120.3624	0.896551
-30.2164	29.82187	0.189487	-120.866	119.2875	0.757946
-28.4219	19.98464	4.937138	-113.688	79.93857	19.74855
-27.4042	7.861795	15.08306	-109.617	31.44718	60.33226
-30.2492	1.118172	27.9867	-120.997	4.472688	111.9468
-30.0916	-0.22269	30.46728	-120.367	-0.89077	121.8691
-29.8198	-0.18756	30.21535	-119.279	-0.75025	120.8614
-19.9857	-4.93776	28.42419	-79.9427	-19.751	113.6968
-7.86211	-15.0838	27.40529	-31.4484	-60.3351	109.6211
-1.11872	-27.9844	30.24787	-4.4749	-111.938	120.9915
0.223357	-30.4683	30.09203	0.89343	-121.873	120.3681
0.187527	-30.2136	29.81831	0.750109	-120.855	119.2732
4.936322	-28.4243	19.98666	19.74529	-113.697	79.94662
15.08179	-27.4043	7.862657	60.32717	-109.617	31.45063
27.99072	-30.2511	1.117293	111.9629	-121.004	4.469171
30.46965	-30.0931	-0.22329	121.8786	-120.373	-0.89315
30.21816	-29.8207	-0.18839	120.8726	-119.283	-0.75356
28.42346	-19.986	-4.93731	113.6938	-79.944	-19.7492
27.40404	-7.8608	-15.0837	109.6162	-31.4432	-60.3347
30.24939	-1.11809	-27.9869	120.9975	-4.47237	-111.948
30.092	0.222448	-30.467	120.368	0.889791	-121.868
29.81828	0.187525	-30.214	119.2731	0.7501	-120.856
19.98517	4.937726	-28.4238	79.94067	19.7509	-113.695
7.862233	15.08265	-27.4045	31.44893	60.33061	-109.618
1.118005	27.98714	-30.2494	4.472018	111.9486	-120.997
-0.22298	30.46726	-30.0922	-0.89194	121.8691	-120.369
-0.18779	30.21449	-29.8182	-0.75115	120.8579	-119.273
-4.93611	28.42475	-19.9875	-19.7444	113.699	-79.9498
-15.0878	27.40506	-7.86161	-60.351	109.6202	-31.4464

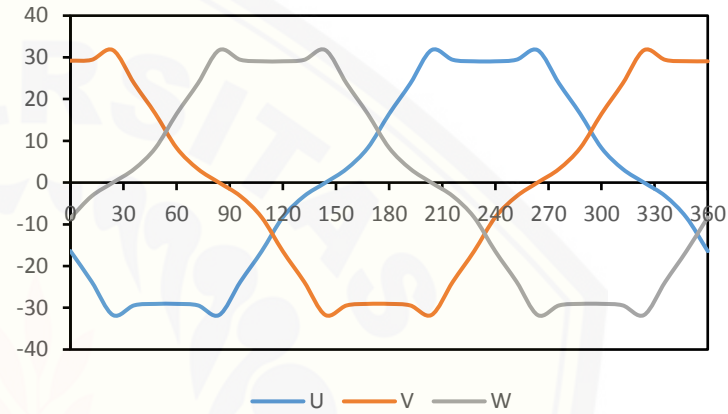
Lampiran 4.10. Tegangan fasa satu coil dan tegangan fasa empat coil umbrella 10° tanpa fillet

TEGANGAN FASA 1 COIL			TEGANGAN FASA 4 COIL SERI		
U	V	W	U	V	W
-15.741	27.33927	-7.14021	-62.9642	109.3571	-28.5608
-28.2037	30.53213	-1.10515	-112.815	122.1285	-4.4206
-31.1746	30.93902	0.14377	-124.698	123.7561	0.57508
-30.7726	30.14196	0.301432	-123.09	120.5678	1.205727
-28.5365	20.80595	4.297289	-114.146	83.22378	17.18916
-27.3408	7.140052	15.74256	-109.363	28.56021	62.97023
-30.531	1.106451	28.20014	-122.124	4.425806	112.8006
-30.9423	-0.14342	31.17688	-123.769	-0.57367	124.7075
-30.1385	-0.30326	30.77359	-120.554	-1.21303	123.0943
-20.8063	-4.29754	28.53716	-83.2251	-17.1902	114.1486
-7.14108	-15.7415	27.34075	-28.5643	-62.9662	109.363
-1.10673	-28.1995	30.5309	-4.42692	-112.798	122.1236
0.143581	-31.1775	30.9425	0.574325	-124.71	123.77
0.303098	-30.7735	30.13907	1.212393	-123.094	120.5563
4.2978	-28.5369	20.80555	17.1912	-114.147	83.22219
15.74129	-27.3409	7.140623	62.96515	-109.364	28.56249
28.19715	-30.53	1.107126	112.7886	-122.12	4.428503
31.17831	-30.9427	-0.14378	124.7132	-123.771	-0.57511
30.7746	-30.1402	-0.30305	123.0984	-120.561	-1.21221
28.53722	-20.8063	-4.29748	114.1489	-83.2252	-17.1899
27.34093	-7.14012	-15.7425	109.3637	-28.5605	-62.9702
30.53053	-1.10679	-28.199	122.1221	-4.42716	-112.796
30.94297	0.143536	-31.1778	123.7719	0.574145	-124.711
30.13868	0.30324	-30.7733	120.5547	1.212958	-123.093
20.80579	4.297451	-28.5367	83.22317	17.1898	-114.147
7.14107	15.74138	-27.3406	28.56428	62.96554	-109.362
1.106379	28.20072	-30.5314	4.425517	112.8029	-122.126
-0.14336	31.17718	-30.9427	-0.57342	124.7087	-123.771
-0.30323	30.77421	-30.1396	-1.21294	123.0968	-120.558
-4.2978	28.53726	-20.806	-17.1912	114.149	-83.2242
-15.741	27.33956	-7.14027	-62.9641	109.3583	-28.5611

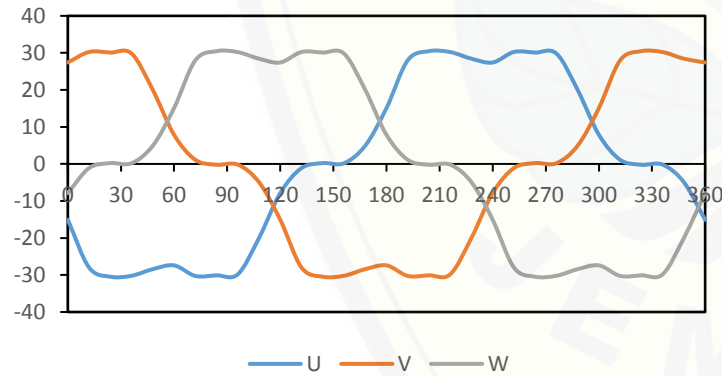
Lampiran 4.11. grafik korelasi tegangan fasa 1 coil dengan electrical angle



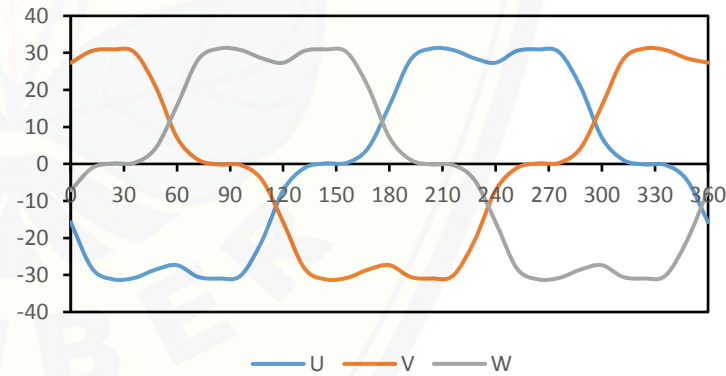
(a) Umbrella 8° tanpa fillet



(b) Umbrella 8° dengan fillet

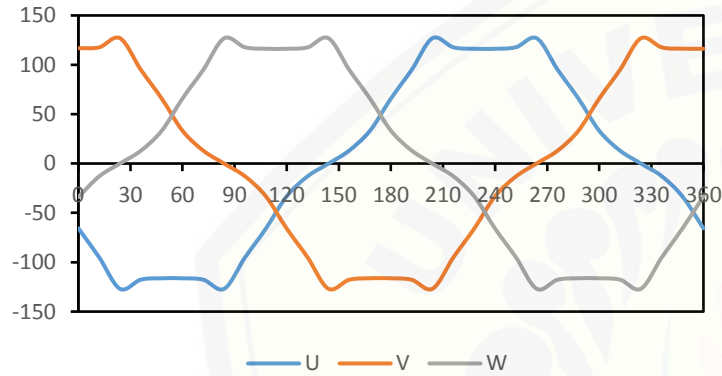


(c) Umbrella 10° tanpa fillet

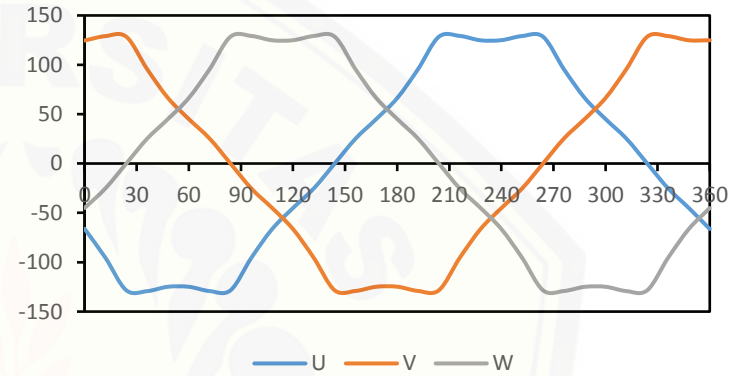


(d) Umbrella 10° dengan fillet

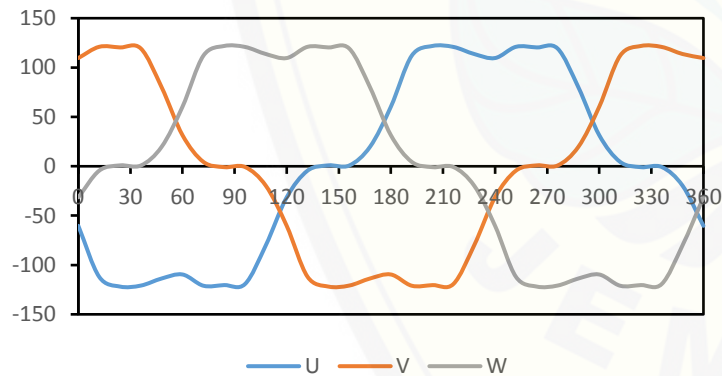
Lampiran 4.12. grafik korelasi tegangan fasa 4 coil dengan electrical angle



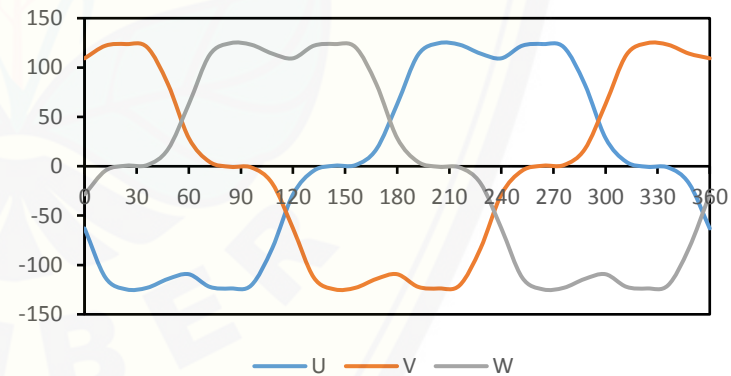
(a) Umbrella 8° tanpa fillet



(b) Umbrella 8° dengan fillet



(c) Umbrella 10° tanpa fillet



(d) Umbrella 10° dengan fillet

Lampiran 4.13. Tegangan antar fasa dan tegangan DC umbrella 8° tanpa fillet

TEGANGAN ANTAR FASA			DC-Voltage
U-V	V-W	W-U	
-182.419	150.7899	31.62927	182.4192109
-212.686	130.6627	82.02345	212.6861562
-253.897	126.9504	126.947	253.8973581
-212.664	82.04248	130.6216	212.6640354
-182.163	32.74661	149.4165	182.1630663
-149.463	-32.7139	182.1772	182.1772469
-130.714	-81.9972	212.7115	212.7115294
-126.866	-126.985	253.8504	253.8503509
-82.0762	-130.672	212.7484	212.7484323
-32.6806	-149.494	182.1744	182.1743739
32.72935	-182.151	149.4217	182.151094
81.9781	-212.631	130.6527	212.6307664
126.7499	-253.873	127.1234	253.8733044
130.9237	-212.756	81.83216	212.7558502
149.5872	-181.962	32.37475	181.9619237
182.0065	-149.594	-32.4125	182.006496
212.708	-130.897	-81.8107	212.7080427
253.8277	-126.691	-127.136	253.8277152
212.7637	-82.1086	-130.655	212.7636975
182.1074	-32.6689	-149.438	182.1073584
149.4481	32.65899	-182.107	182.1070807
130.9406	81.81433	-212.755	212.7548864
126.7183	127.113	-253.831	253.8312944
82.01626	130.746	-212.762	212.7622617
32.63499	149.4624	-182.097	182.0974236
-32.6545	182.0952	-149.441	182.0952361
-82.0321	212.7477	-130.716	212.7476951
-126.914	253.8195	-126.906	253.8194859
-130.48	212.7634	-82.2836	212.7634302
-149.899	181.9628	-32.0638	181.9628261
-181.95	149.6094	32.34041	181.9497854

Lampiran 4.14. Tegangan antar fasa dan tegangan DC umbrella 8° dengan fillet

TEGANGAN ANTAR FASA			DC-Voltage
U-V	V-W	W-U	
-190.801	169.6797	21.12132	190.8010403
-224.58	154.2268	70.35287	224.5796836
-256.841	128.4289	128.4121	256.8409894
-224.93	70.47382	154.4562	224.9300125
-191.207	21.31066	169.8967	191.2073529
-169.936	-21.278	191.2143	191.214343
-154.478	-70.3389	224.8164	224.8163945
-128.462	-128.498	256.9602	256.9601732
-70.2784	-154.507	224.7853	224.7852964
-21.3053	-169.9	191.2056	191.2055998
21.30595	-191.299	169.9927	191.2986754
70.39626	-224.812	154.4159	224.8121085
128.4005	-256.877	128.4764	256.8769026
154.2524	-224.577	70.3245	224.5768482
169.928	-191.098	21.17027	191.0982684
191.0052	-169.861	-21.1441	191.005213
224.6093	-154.234	-70.3752	224.6092775
256.835	-128.422	-128.413	256.8349804
224.9239	-70.4301	-154.494	224.9239119
191.2024	-21.3765	-169.826	191.2023874
170.0952	21.23553	-191.331	191.3307215
154.347	70.43328	-224.78	224.7802638
128.45	128.4457	-256.896	256.8957153
70.35092	154.4232	-224.774	224.7740828
21.30289	169.9976	-191.3	191.3004702
-21.3062	191.2048	-169.899	191.2048477
-70.3727	224.856	-154.483	224.8559643
-128.392	256.8409	-128.449	256.8409145
-154.208	224.645	-70.4375	224.6450258
-169.96	191.0734	-21.1136	191.0733783
-191.149	169.9133	21.2354	191.1486474

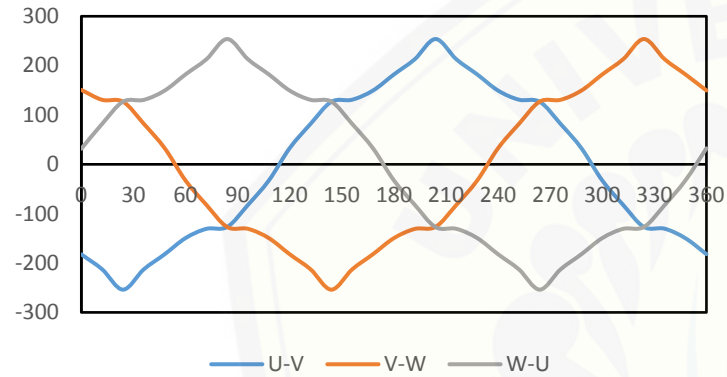
Lampiran 4.15. Tegangan antar fasa dan tegangan DC umbrella 10° tanpa fillet

TEGANGAN ANTAR FASA			DC VOLTAGE
U-V	V-W	W-U	
-169.955	141.102	28.85261	169.9545906
-232.95	125.4798	107.4702	232.9499832
-242.237	119.4659	122.7711	242.2369077
-240.153	118.5295	121.6235	240.1530261
-193.626	60.19002	133.4361	193.6260761
-141.064	-28.8851	169.9493	169.9492594
-125.47	-107.474	232.9437	232.9436821
-119.476	-122.76	242.2357	242.2356919
-118.529	-121.612	240.1406	240.1405561
-60.1917	-133.448	193.6395	193.6394687
28.88672	-169.956	141.0696	169.9562861
107.4626	-232.929	125.4664	232.9290142
122.7664	-242.241	119.4747	242.2411366
121.6046	-240.128	118.5231	240.1277661
133.4425	-193.644	60.20133	193.6438616
169.9443	-141.068	-28.8765	169.9442654
232.9671	-125.473	-107.494	232.9671255
242.2512	-119.479	-122.772	242.2511583
240.1555	-118.529	-121.626	240.1554702
193.6378	-60.1948	-133.443	193.6378252
141.0594	28.8915	-169.951	169.9508634
125.4699	107.4753	-232.945	232.9452489
119.4782	122.7577	-242.236	242.2358974
118.523	121.6063	-240.129	240.1293307
60.18977	133.4463	-193.636	193.6360322
-28.8817	169.9486	-141.067	169.9486
-107.477	232.946	-125.47	232.9460486
-122.761	242.2379	-119.477	242.2378673
-121.609	240.1309	-118.522	240.1309052
-133.443	193.6488	-60.2054	193.6487848
-169.971	141.0666	28.90461	169.9712566

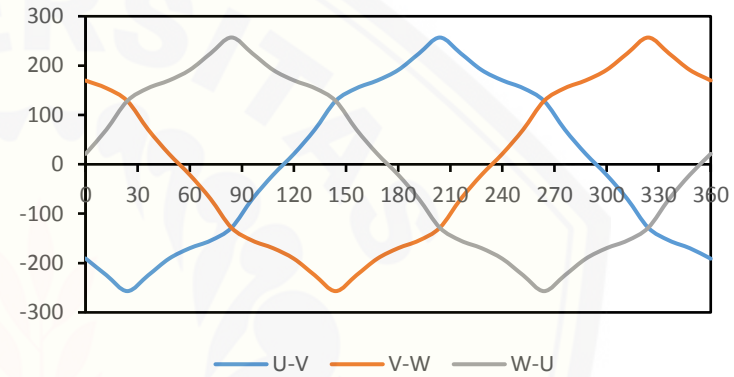
Lampiran 4.16. Tegangan antar fasa dan tegangan DC umbrella 10° dengan fillet

TEGANGAN ANTAR FASA			DC VOLTAGE
U-V	V-W	W-U	
-172.321	137.9179	34.40337	172.3212704
-234.943	126.5491	108.3943	234.9434411
-248.454	123.181	125.2733	248.4543353
-243.658	119.3621	124.296	243.6581202
-197.37	66.03463	131.3352	197.369856
-137.923	-34.41	172.3333	172.3333223
-126.55	-108.375	234.9246	234.9246148
-123.196	-125.281	248.4767	248.4766774
-119.341	-124.307	243.6482	243.6481648
-66.0349	-131.339	197.3737	197.3737265
34.40187	-172.329	137.9273	172.3291992
108.371	-234.922	126.5505	234.9215578
125.2843	-248.48	123.1957	248.4800081
124.3062	-243.65	119.3439	243.6501011
131.3387	-197.37	66.03099	197.3696686
172.3287	-137.926	-34.4027	172.3287355
234.9087	-126.549	-108.36	234.9086904
248.4842	-123.196	-125.288	248.4842069
243.6591	-119.348	-124.311	243.659078
197.3741	-66.0353	-131.339	197.3740617
137.9242	34.40968	-172.334	172.3339106
126.5493	108.3688	-234.918	234.9180703
123.1977	125.2852	-248.483	248.4829652
119.3418	124.3062	-243.648	243.648004
66.03337	131.3366	-197.37	197.3699272
-34.4013	172.3279	-137.927	172.3278995
-108.377	234.9285	-126.551	234.9284706
-125.282	248.4795	-123.197	248.4795007
-124.31	243.6551	-119.345	243.6551028
-131.34	197.3732	-66.033	197.3732006
-172.322	137.9193	34.40297	172.3223123

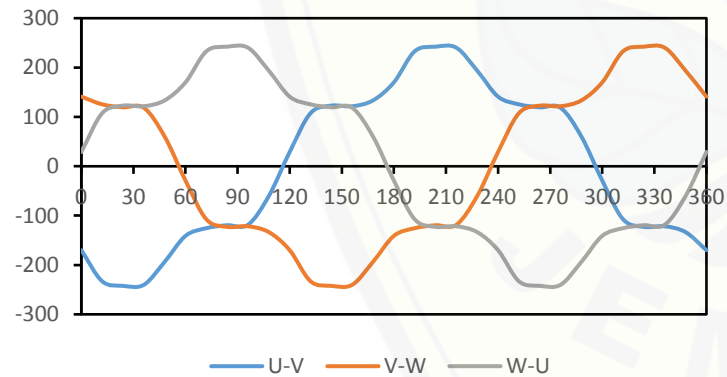
Lampiran 4.17 Grafik korelasi tegangan antar fasa terhadap electrical angle



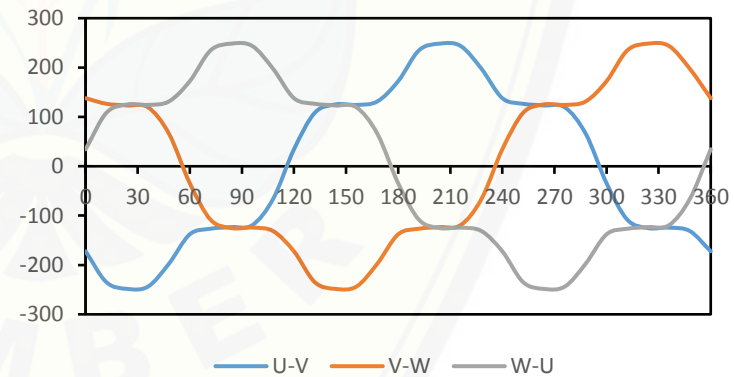
(a) Umbrella 8° tanpa fillet



(b) Umbrella 8° dengan fillet



(c) Umbrella 10° tanpa fillet



(d) Umbrella 10° dengan fillet

Lampiran 4.18 Harmonisa pada umbrella 8° tanpa fillet

8 DEG	fft Freq	8 DEG	8 DEG
-33.9882	0	2.205466	-35.287457162035
-12.9921	2000	118.3144	-404.135436084348-1849.3886809184i
-0.00181	4000	12.53548	42.0980584007043+196.099915970825i
12.97187	6000	12.25107	76.1956232406881+180.601546220768i
33.15024	8000	4.842719	21.9871856129153+74.298430035293i
65.91533	10000	12.35982	141.441087533748+138.211072844309i
95.01923	12000	6.243525	-99.8060997221626-4.24670690350709i
126.9159	14000	4.91877	-77.1985799051167+15.3009476925386i
117.7238	16000	1.582402	-6.19643632160823+24.5484653750055i
116.265	18000	0.145763	-22.8912866769316+21.4712566136582i
116.2626	20000	1.645745	-19.511621279754+17.6823930844312i
117.6468	22000	1.277407	-17.8216009630828+10.00616248103i
126.9967	24000	4.627685	-59.0318599990363+44.6944990997614i
94.985	26000	2.950698	-40.1508791654097+24.8354900061308i
65.71219	28000	2.630813	-12.0782254172612-40.3229176267696i
			-
33.33134	30000	2.031939	32.4968653681899+0.959600749223455i
13.144	32000	2.071408	-33.1425238491859
			-32.4968653681887-
-0.1546	34000	2.031939	0.959600749223569i
-12.96	36000	2.630813	-12.0782254172612+40.3229176267696i
-33.1989	38000	2.950698	-40.15087916541-24.8354900061308i
-65.8651	40000	4.627685	-59.0318599990364-44.6944990997613i
-94.973	42000	1.277407	-17.8216009630826-10.0061624810299i
-126.98	44000	1.645745	-19.511621279754-17.6823930844312i
-117.722	46000	1.96157	-22.8912866769321-21.4712566136588i
-116.244	48000	1.582402	-6.19643632160826-24.5484653750055i
-116.236	50000	4.91877	-77.1985799051161-15.300947692538i
-117.706	52000	6.243525	-99.8060997221627+4.24670690350731i
-126.908	54000	12.35982	141.441087533747-138.21107284431i
-95.1235	56000	4.842719	21.9871856129151-74.2984300352931i
-65.6196	58000	12.25107	76.195623240688-180.601546220769i
-33.3556	60000	12.53548	42.0980584007038-196.099915970825i
-1.29921	62000	118.3144	-404.135436084342+1849.3886809184i

Lampiran 4.19 Harmonisa pada umbrella 8° degan fillet

8 DEG fillet	fft Freq	8 DEG fillet	8 DEG fillet
-45.0539	0	2.97308	-47.5692878859533
-25.1543	2000	125.8605	-439.938506267826-1965.12474909903i
0.006175	4000	13.04427	30.4270767346703+206.478511815567i
25.16637	6000	11.31645	50.9452577874417+173.748354535782i
45.06814	8000	4.926886	-1.81210355752049+78.80934117136i
66.36122	10000	7.355664	51.9184407196592+105.619874386068i
95.60613	12000	5.132417	-75.7470448068801+31.7153270322429i
128.4927	14000	5.12543	-109.388510644717+33.9361176080314i
129.2298	16000	3.795311	37.189772210829+48.0046175616346i
124.8388	18000	2.512027	-8.03049806020591+39.3820074824526i
124.9009	20000	2.460351	-19.5933306041346+34.1431317322138i
129.198	22000	2.156346	-22.8063135694494+25.8887727260985i
128.4474	24000	2.56745	-52.4696982970385+42.9734675389857i
95.49219	26000	3.124722	-42.503138807579+26.3256240727405i
66.28397	28000	2.059467	-31.9949437125823-7.88184945594672i
45.09305	30000	2.638829	-41.83259181595+5.71571777715087i
25.15063	32000	2.680112	-42.8817960539049
-0.0088	34000	2.638829	-41.8325918159488-5.7157177771511i
-25.2315	36000	2.059467	-31.9949437125824+7.88184945594678i
-45.0141	38000	3.124722	-42.5031388075793-26.3256240727406i
-66.3859	40000	4.238859	-52.4696982970386-42.9734675389856i
-95.6236	42000	2.156346	-22.8063135694492-25.8887727260985i
-128.449	44000	2.460351	-19.5933306041347-34.1431317322138i
-129.172	46000	2.512027	-8.03049806020644-39.3820074824534i
-124.906	48000	3.795311	37.189772210829-48.0046175616346i
-124.836	50000	7.15823	-109.388510644716-33.9361176080307i
-129.238	52000	5.132417	-75.7470448068802-31.7153270322427i
-128.418	54000	7.355664	51.9184407196587-105.619874386069i
-95.5682	56000	4.926886	-1.81210355752066-78.8093411713601i
-66.2436	58000	11.31645	50.9452577874417-173.748354535782i
-45.0856	60000	13.04427	30.4270767346698-206.478511815567i
-2.51543	62000	125.8605	-439.93850626782+1965.12474909903i

Lampiran 4.20 Harmonisa pada umbrella 10° tanpa fillet

10 DEG	fft Freq	10 DEG	10 DEG
-31.4771	0	2.142239	-34.2758177159861
-4.4785	2000	120.0164	-469.233534461047-1862.04855532569i
0.896551	4000	12.51166	59.3804317898096+191.177000022239i
0.757946	6000	11.33038	92.304928782604+156.026981868767i
19.74855	8000	6.106112	61.3914367397078+75.9996738217544i
60.33226	10000	19.58719	278.752179566346+143.22603324314i
111.9468	12000	8.97018	-142.564638521397-16.5572030367193i
121.8691	14000	0.171805	-33.1722689137421+2.03369880268849i
120.8614	16000	5.636189	-86.6786403567336+24.8811061452511i
113.6968	18000	4.306612	-64.0367752310913+25.4420957617402i
			-
109.6211	20000	1.543677	24.6942436396642+0.476027089427349i
120.9915	22000	2.352377	-35.0967034608156+13.5956812011543i
120.3681	24000	2.021625	-22.0932609974887-23.6252380716156i
119.2732	26000	1.838955	-28.4478195359866-7.5133721358639i
79.94662	28000	3.156989	-28.8173549358065+41.484983874578i
31.45063	30000	1.806562	-28.6401643489336+3.90380874501261i
4.469171	32000	1.856156	-29.6984957629282
-0.89315	34000	1.806562	-28.6401643489324-3.90380874501273i
-0.75356	36000	3.156989	-28.8173549358067-41.484983874578i
-19.7492	38000	1.838955	-28.4478195359869+7.5133721358639i
-60.3347	40000	2.021625	-22.0932609974887+23.6252380716157i
-111.948	42000	2.352377	-35.0967034608154-13.5956812011541i
			-24.6942436396641-
-121.868	44000	1.543677	0.476027089427332i
-120.856	46000	4.306612	-64.036775231092-25.4420957617408i
-113.695	48000	5.636189	-86.6786403567337-24.8811061452511i
-109.618	50000	2.077159	-33.1722689137415-2.03369880268803i
-120.997	52000	8.97018	-142.564638521397+16.5572030367195i
-120.369	54000	19.58719	278.752179566346-143.226033243142i
-119.273	56000	6.106112	61.3914367397076-75.9996738217545i
-79.9498	58000	11.33038	92.3049287826041-156.026981868767i
-31.4464	60000	12.51166	59.3804317898091-191.17700002224i
-2.79872	62000	120.0164	-469.233534461041+1862.04855532569i

Lampiran 4.21 Harmonisa pada umbrella 10° dengan fillet

FILLET	fft Freq	FILLET	FILLET
-28.5608	0	1.961324	-31.3811903049409
-4.4206	2000	121.4459	-471.308122557369-1885.11009893095i
0.57508	4000	12.7758	63.6885488519218+194.237829912428i
1.205727	6000	11.64756	97.5989227573556+158.760315396871i
17.18916	8000	6.522947	67.881869981564+79.2751793134254i
62.97023	10000	20.99907	299.519643748756+152.230191321341i
112.8006	12000	9.474248	-150.514853650471-18.0052777364249i
124.7075	14000	2.260204	-35.7671418904909+5.33791091847557i
123.0943	16000	5.621623	-87.1048787001941+22.4280733905656i
114.1486	18000	4.290644	-63.7452398656765+25.4835015483814i
109.363	20000	1.693996	-26.9394249471662+2.98172511257722i
122.1236	22000	2.64798	-38.0118776975189+18.7114079921812i
123.77	24000	2.220837	-13.1127703015826-33.0254106599971i
120.5563	26000	1.710924	-26.7240548066417-5.93325503376762i
83.22219	28000	1.671164	-18.5538825003965+19.2537655387041i
28.56249	30000	1.596218	-25.476715437071+1.78948035460451i
4.428503	32000	1.589069	-25.4251082683406
-0.57511	34000	1.596218	-25.4767154370699-1.78948035460462i
-1.21221	36000	1.671164	-18.5538825003966-19.2537655387041i
-17.1899	38000	1.710924	-26.724054806642+5.93325503376772i
-62.9702	40000	2.220837	-13.1127703015826+33.0254106599972i
-112.796	42000	2.64798	-38.0118776975188-18.7114079921808i
-124.711	44000	1.693996	-26.9394249471661-2.98172511257721i
-123.093	46000	4.290644	-63.7452398656771-25.4835015483819i
-114.147	48000	5.621623	-87.1048787001941-22.4280733905656i
-109.362	50000	2.260204	-35.7671418904903-5.33791091847505i
-122.126	52000	9.474248	-150.514853650471+18.0052777364252i
-123.771	54000	20.99907	299.519643748755-152.230191321343i
-120.558	56000	6.522947	67.8818699815639-79.2751793134255i
-83.2242	58000	11.64756	97.5989227573557-158.760315396871i
-28.5611	60000	12.7758	63.6885488519213-194.237829912429i
-2.82037	62000	121.4459	-471.308122557363+1885.11009893095i

Lampiran 4.22. torsi generator

DEG	U 8 dengan fillet	10 DEG FILLET	8 DEG TANPA FILLET	10 DEG TANPA FILLET
0	0.290174	0.003722	0.262658	0.254085
3	1.042895	1.049017	1.067572	1.359638
6	0.245207	1.114228	0.144995	1.485015
9	0.067138	1.137684	0.148754	0.987603
12	1.088202	1.076209	1.070649	0.87622
15	0.291436	0.016021	0.263476	0.248638
18	1.043288	1.042672	1.066072	1.36177
21	0.242827	1.105976	0.146657	1.484913
24	0.067203	1.140911	0.149322	0.987253
27	1.088304	1.073052	1.070475	0.879545
30	0.291542	0.015431	0.263694	0.249136
33	1.043133	1.043263	1.065955	1.357887
36	0.243226	1.109878	0.146399	1.484884
39	0.067051	1.143485	0.149661	0.987533
42	1.088214	1.078702	1.070176	0.877725
45	0.291901	0.016798	0.263176	0.24806
48	1.043614	1.05006	1.067812	1.360314
51	0.242942	1.113547	0.14603	1.484742
54	0.067066	1.138265	0.148835	0.987166
57	1.08845	1.076103	1.070458	0.87965
60	0.291595	0.015719	0.263318	0.249041
63	1.043076	1.046156	1.066359	1.360983
66	0.245545	1.110648	0.146639	1.481247
69	0.066803	1.133721	0.150333	0.985961
72	1.08805	1.072085	1.070258	0.879925
75	0.291301	0.012989	0.263401	0.248731
78	1.043404	1.046942	1.06612	1.360824
81	0.242591	1.108731	0.146285	1.480981
84	0.067314	1.144683	0.149931	0.98527
87	1.088391	1.078169	1.069834	0.877304
90	0.289308	0.00734	0.262862	0.248097