DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN iv
KATA PENGANTAR v
UCAPAN TERIMAKASIH vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR SIMBOL & SINGKATAN xvi
ABSTRAK xviii
ABSTRACT xix

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 6
2.2.1. Prinsip Kerja Generator Sinkron 6
2.2.2. Konstruksi Generator Sinkron Magnet Permanen 9
2.2.3. Jenis-Jenis Generator Sinkron Magnet Permanen 13
2.2.4. Penyearah Daya 15
2.2.5. Perhitungan Matematis Desain Generator 17
2.2.6. Angin 20
2.2.7. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu 21
2.2.8. Perangkat Lunak MagNet Infolytica 26

BAB III METODELOGI PENELITIAN 27
3.1 Metode Penelitian 27
3.2 Alat dan Bahan Penelitian 27
3.2.1 Alat Penelitian 27
3.2.2 Bahan Penelitian 27
3.3 Langkah-Langkah Mendesain Generator Sinkron Magnet Permanen 28
3.3.1 Mengumpulkan katalog Generator Sinkron Magnet Permanen Dan *Data Sheet* Material Magnet Permanen Yang Digunakan 28
3.3.2 Membuat Desain Generator Sinkron Magnet Permanen Menggunakan Perangkat Lunak Solidworks 28
3.3.3 Melakukan Inisialisasi Desain Generator Sinkron Magnet Permanen Pada Perangkat Lunak Magnet Infolytica 28
3.3.4 Membuat Rangkaian Kumparan Stator 28
3.3.5 Mengatur *Mesh* 29
3.3.6 Membuat *Motion* Bagian Rotor 29
3.3.7 Mengatur Parameter Simulasi 29
3.3.8 Mengatur Rangkaian Simulasi 29
3.4 Diagram Alir 29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 32
4.1 Desain Generator Sinkron Magnet Permanen 32
4.1.1 Data Generator Berdasarkan Katalog Dan *Data Sheet* Material Magnet Permanen Yang Didapatkan Dari Beberapa Perusahaan 32
4.1.2 Desain Generator Sinkron Magnet Menggunakan Perangkat Lunak Solidworks 33
4.1.3 Inisialisasi Desain Generator Sinkron Magnet Menggunakan Perangkat Lunak MagNet Infolytica 39
4.1.4 Kumparan Stator 41
4.1.5 *Mesh* 43
4.1.6 Simulasi Model Generator Sinkron Magnet Permanen 45
4.2 Distribusi Medan Magnet Hasil Simulasi Generator Sinkron Magnet Permanen 49
4.3 Simulasi Tanpa Beban Generator Sinkron Magnet Permanen 52

4.3.1 Tegangan Fasa Generator Sinkron Magnet Permanen 53
4.3.2 Tegangan *Line* Generator Sinkron Magnet Permanen 55
4.4 Simulasi Berbeban Generator Sinkron Magnet Permanen 56
4.4.1 Simulasi Berbeban Generator Sinkron Magnet Permanen dengan Beban R 56
4.4.2 Simulasi Berbeban Generator Sinkron Magnet Permanen dengan Beban R dan L 69
4.5 Simulasi Berbeban Generator Sinkron Magnet Permanen dengan Penambahan Filter C 74
4.6 Simulasi Torsi *Cogging* Generator Sinkron Magnet Permanen 81

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 85
5.1 Kesimpulan 85
5.2 Saran 86

DAFTAR PUSTAKA 87
LAMPIRAN 89

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Karakteristik magnet permanen jenis Neodymium Iron Boron 48/11..... 33
Tabel 4.2 Karakteristik magnet permanen jenis Ceramic 11..... 33
Tabel 4.3 Dimensi generator sinkron magnet permanen..... 35
Tabel 4.4 Material masing-masing bagian generator sinkron magnet permanen 41
Tabel 4.5 Tegangan fasa dengan metode simulasi dan perhitugan..... 55
Tabel 4.6 Tegangan *Line* dengan metode simulasi dan perhitugan 56
Tabel 4.7 Tegangan DC rata-rata genertor sinkron magnet permanen 63
Tabel 4.8 Arus DC rata-rata genertor sinkron magnet permanen 64
Tabel 4.9 Torsi rata-rata genertor sinkron magnet permanen..... 66
Tabel 4.10 Daya input dan daya output pada generator sinkron magnet permanen..... 69
Tabel 4.11 Perbandingan tegangan DC, arus DC, dan daya output rata-rata dengan beban R dan beban L pada simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen 74
Tabel 4.12 Perbandingan tegangan DC *steady state*, dan *overshoot* pada kombinasi beban R dan L 80
Tabel 4.13 Perbandingan arus DC *steady state*, dan *overshoot* pada kombinasi beban R dan L 81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran fluks magnet pada desain generator 7
Gambar 2.2 Perubahan besar tegangan induksi pada fasa (a) dalam 1 putaran penuh 8
Gambar 2.3 Generator sinkron magnet permanen 9
Gambar 2.4 Stator pada generator sinkron magnet permanen 9
Gambar 2.5 Magnet permanen pada rotor 11
Gambar 2.6 Kurva histerisis magnetik 11
Gambar 2.7 Kurva karakteristik bahan magnet permanen 13
Gambar 2.8 Generator fluks radial 14
Gambar 2.9 Generator fluks aksial 14
Gambar 2.10 Rangkaian penyearah gelombang penuh 3 fasa 15
Gambar 2.11 Gelombang masukan dan keluaran penyearah gelombang penuh 3 fasa 16
Gambar 2.12 Bentuk desain stator 18
Gambar 2.13 Pembangkit Listrik Tenaga Angin di PT Lentera Angin Nusantara 21
Gambar 2.14 Turbin angin jenis *Horizontal Axis Wind Turbine* 22
Gambar 2.15 Turbin angin jenis *Vertical Axis Wind Turbin* 22
Gambar 2.16 Bagian-bagian bilah 23
Gambar 2.17 Jenis- jenis bilah 23
Gambar 2.18 Bagian ekor 24
Gambar 2.19 Skema Kerja *Controller* 24
Gambar 2.20 Dua Proses Kerja Baterai 25
Gambar 2.21 Aliran Kerja Inverter 25
Gambar 2.22 Tampilan menu utama perangkat lunak MagNet Infolytica 26
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian generator sinkron magnet permanen 31
Gambar 4.1 Desain bagian stator 24 slot menggunakan perangkat lunak Solidworks 34
Gambar 4.2 Desain bagian rotor delapan *pole* menggunakan perangkat lunak Solidworks 34
Gambar 4.3 Hasil *import* file desain generator sinkron magnet permanen 40
Gambar 4.4 Proses pemberian nama dan penentuan jenis material 40

Gambar 4.5 Hasil inisialisasi generator sinkron magnet permanen 41
Gambar 4.6 Desain kumparan masing-masing fasa 42
Gambar 4.7 Diagram kumparan generator sinkron magnet permanen 42
Gambar 4.8 Menentukan jumlah lilitan tiap kumparan..... 43
Gambar 4.9 Menentukan *mesh* masing-masing bagian..... 44
Gambar 4.10 Hasil pengaturan *mesh* generator sinkron magnet permanen..... 44
Gambar 4.11 Parameter *motion* generator sinkron maget permanen..... 45
Gambar 4.12 Parameter kecepatan putar generator sinkron magnet permanen..... 47
Gambar 4.13 Transient Option pada perangkat lunak MagNet Infolytica untuk simulasi generator sinkron maget permanen 47
Gambar 4.14 Parameter simulasi Solver Option MagNet Infolytica 48
Gambar 4.15 Proses simulasi pada perangkat lunak MagNet Infolytica..... 48
Gambar 4.16 Grafik tegangan *line* pada perangkat lunak MagNet Infolytica..... 49
Gambar 4.17 Grafik tegangan DC setelah disearahkan pada perangkat lunak MagNet Infolytica..... 49
Gambar 4.18 Garis-garis fluks magnet untuk magnet permanen jenis NdFeB 48/11 50
Gambar 4.19 Arah medan magnet untuk magnet permanen jenis NdFeB 48/11 50
Gambar 4.20 Garis-garis fluks magnet untuk magnet permanen jenis Ceramic 11... 52
Gambar 4.21 Arah medan magnet untuk magnet permanen jenis Ceramic 11 52
Gambar 4.22 Rangkaian simulasi tanpa beban generator sinkron magnet permanen 53
Gambar 4.23 Tegangan fasa generator sinkron magnet permanen..... 54
Gambar 4.24 Tegangan *line* generator sinkron magnet permanen 55
Gambar 4.25 Simulasi *open circuit* pada simulasi generator sinkron magnet permanen..... 57
Gambar 4.26 Tegangan *open circuit* pada generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω 57
Gambar 4.27 Tegangan *open circuit* menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 pada generator sinkron magnet permanen dengan beban 22 Ω..... 57
Gambar 4.28 Rangkaian simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen dengan beban R 59

Gambar 4.29 Tegangan *line* generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω 59
Gambar 4.30 Tegangan *line* menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω 59
Gambar 4.31 Arus generator sinkron magnet dengan beban 100 Ω 60
Gambar 4.32 Arus menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω 60
Gambar 4.33 Tegangan setelah disearahkan generator sinkron magnet permanen d dengan beban 100 Ω 62
Gambar 4.34 Tegangan setelah disearahkan menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 menggunakan beban 22 Ω 62
Gambar 4.35 Arus setelah disearahkan generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω 64
Gambar 4.35 Arus setelah disearahkan menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω 64
Gambar 4.36 Torsi generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω 65
Gambar 4.37 Tegangan DC dari kombinasi beban R dan L pada simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen..... 65
Gambar 4.38 Torsi menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω 65
Gambar 4.39 Daya *input* dan daya *output* generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω 67
Gambar 4.40 Daya *input* dan daya *output* menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω 67
Gambar 4.41 Rangkaian simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen dengan beban R dan beban L 70
Gambar 4.42 Tegangan DC dari kombinasi jenis beban R dan L pada simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω. 71
Gambar 4.43 Tegangan DC dari kombinasi jenis beban R dan L menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω..... 71
Gambar 4.44 Arus DC dari kombinasi jenis beban R dan L pada simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen dengan beban 100Ω..... 72

Gambar 4.45 Arus DC dari kombinasi jenis beban R dan L menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω 72
Gambar 4.46 Daya *output* dari kombinasi jenis beban R dan L pada simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω. 73
Gambar 4.47 Daya *output* dari kombinasi jenis beban R dan L menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω 73
Gambar 4.48 Rangkaian simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen dengan filter C 74
Gambar 4.49 Perbandingan tegangan DC pada masing-masing filter dengan beban R simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω 76
Gambar 4.50 Perbandingan tegangan DC pada masing-masing filter menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω..... 76
Gambar 4.51 Perbandingan arus DC pada Masing-masing filter dengan beban R simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω. 77
Gambar 4.52 Perbandingan arus DC pada masing-masing filter menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω..... 77
Gambar 4.53 Perbandingan daya *output* pada masing-masing filter dengan beban R simulasi berbeban generator sinkron magnet permanen dengan beban 100 Ω 79
Gambar 4.54 Perbandingan arus DC pada masing-masing filter menggunakan magnet permanen jenis Ceramic 11 dengan beban 22 Ω 79
Gambar 4.55 *Transient Option* pada perangkat lunak MagNet Infolytica untuk simulasi *cogging* 83
Gambar 4.56 Model generator sinkron magnet permanen untuk simulasi torsi *cogging* 83
Gambar 4.57 Torsi *cogging* pada generator sinkron magnet 84

DAFTAR SIMBOL & SINGKATAN

A = Luas penampang bilah (m^2)

AC = *Alternating Current*

A_o = Luas area slot (m^2)

A_s = Luas lubang slot (m^2)

B_d = Kerapatan fluks di titik pengoperasian generator (T)

B_g = Kerapatan fluks dalam celah udara (T)

B_g' = Kerapatan fluks dalam celah udara rata-rata (T)

B_r = Kerapatan fluks remanen (T)

C = Kapasitor

d = Diameter konduktor (m)

D_a = Diameter dalam magnet/ diamter luar rotor (m)

D_b = Diameter luar stator (m)

DC = *Direct Current*

D_c = Diameter dalam stator (m)

D_e = Diameter dalam lubang slot (m)

D_i = Diameter luar magnet (m)

e = Tegangan induksi (*Volt*)

E_{ll} = Tegangan *line* (*Volt*)

E_{ph} = Tegangan fasa (*Volt)*

f = Frekuensi (Hz)

F = Farad

H = Henry

H_c = Nilai dari *coercive force* (*A/m*)

I_{dc} = Arus dc rata-rata (*Ampere)*

K_e = Konstanta *back-emf*

K_s = Faktor *skewing*

K_T = Konstanta torsi

K_w = Faktor belitan

L = Induktor

L_a = Tebal inti stator/rotor (m)

L_h = Panjang magnet (m)

L_m = Tebal magnet (m)

L_t = Tinggi *umbrella* (m)

L_{tg} = Jarak antar slot (m)

L_w = Lebar *teeth* (m)

n = Kecepatan putar generator (*rpm*)

N_t = Banyaknya lilitan

N_c = Jumlah kumparan tiap fasa

N_s = Jumlah slot

N_{ph} = Jumlah fasa

p = Jumlah kutub magnet

P_c = Koefisien permeance

P_{anign} = Daya angina (*Watt*)

P_{in} = Daya *input* (*Watt*)

P_{out} = Daya *output* (*Watt*)

R = Resistor

S_f = *Coil fill factor*

S_m = Luas area magnet per kutub (m^2)

S_g = Luas ekuivalen gap (m^2)

T = Torsi (Nm)

T = Tesla

v = Kecepatan angin (m/s)

V_{dc} = Tegangan dc rata-rata ($Volt$)

V_m = Tegangan maksimum tiap fasa ($Volt$)

Vss = Tegangan *steady-state* ($Volt$)

Vp = Tegangan *overshoot* ($Volt$)

λ = Perkalian antara jumlah lilitan dengan fluks magnet

σ_g = Celah udara (m)

Φ = Fluks magnet (Wb)

Φ_g' = Fluks efektif rata-rata (Wb)

Ω = Ohm

ρ_{angin} = massa jenis udara (kg/m^3)

μ = Mikro (10^{-6})

μ_r = Kemiringan kurva demagnetisasi

ω = Kecepatan sudut (rad)

$\%Mp$ = Persentase *overshoot*