

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR SIMBOL DAN KONSTANTA.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Interaksi Magnetik.....	5
2.1.1 Momen Magnet	5
2.1.2 Magnetisasi.....	6
2.1.3 Klasifikasi Sifat Kemagnetan	6
2.1.3.1 Diamagnetik	6
2.1.3.2 Paramagnetik	7
2.1.3.3 Feromagnetik.....	8
2.1.4 Domain dan Dinding Domain	8
2.1.5 Magnetik Anisotropi.....	10

2.1.6 Dinamika Spin Magnet.....	10
2.2 Total Energi pada Suatu Sistem	13
2.2.1 Energi Uniaksial Anisotropi	14
2.2.2 Energi <i>Exchange</i>	14
2.2.3 Interaksi Dzyaloshinskii-Moriya (DMI)	15
2.2.4 Energi Demagnetisasi	15
2.2.5 <i>Voltaged-Controlled Magnetic Anisotropy</i> (VCMA).....	15
2.3 Lapisan Tipis Co/Ni	16
2.4 <i>Finite Difference Method</i> (FDM)	17
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2 Alat dan Perangkat Lunak Penelitian	19
3.3 Parameter Penelitian.....	19
3.4 Analisis Data	21
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.6 Langkah Penelitian	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Pemberian Besar Medan Listrik pada Program.....	23
4.2 Pengontrolan PMA menggunakan Medan Listrik.....	25
4.3 Kontrol Distribusi Arah Magnetisasi menggunakan Medan Listrik	28
4.4 Analisis Waktu Saturasi menggunakan Medan Listrik	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Simpulan.....	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN.....	39
Lampiran 1. Data Hasil Simulasi.....	39
Lampiran 2. Kode Program.	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Perkembangan data secara global [1].	1
Gambar 1.2. Struktur MRAM tipe PMA.....	2
Gambar 1.3. Struktur perekaman magnetik menggunakan <i>giant magneto resistant</i> (GMR) dengan struktur (a) IMA dan (b) PMA (digambar ulang dari [6]).....	3
Gambar 2.1. Momen magnet yang dihasilkan oleh muatan elektron $q = -e$ dengan jari-jari r , kecepatan tangensial v dan kecepatan angular ω . Pada elektron, arah momentum angular $\mathbf{l}$ berlawanan dengan arah momen magnet (digambar ulang dari [11]).	5
Gambar 2.2. (a) Bahan diamagnetik ketika tidak diberi medan magnet eksternal dan (b) diberi medan magnet eksternal (digambar ulang dari [13]). 7	
Gambar 2.3. (a) Bahan paramagnetik ketika tidak diberi medan magnet eksternal dan (b) diberi medan magnet eksternal (digambar ulang dari [13]). 7	
Gambar 2.4. (a) Bahan feromagnetik ketika tidak diberi medan magnet eksternal, dan (b) diberi medan magnet eksternal (digambar ulang dari [13]). 8	
Gambar 2. 5 Dinding domain (digambar ulang dari [13]).....	8
Gambar 2.6. Rotasi magnetisasi dari <i>Bloch wall</i> pada lapisan tipis (digambar ulang dari [12]).....	9
Gambar 2.7. Rotasi magnetisasi dari <i>Néel wall</i> pada lapisan tipis (digambar ulang dari [12]).....	9
Gambar 2.8. Hubungan antara energi anisotropi terhadap sudut magnetisasi. ...	10
Gambar 3.1. Ilustrasi sistem dari MgO/Co/Ni ketika diberikan tegangan.	20
Gambar 3.2. Diagram alir simulasi pengontrolan PMA menggunakan medan listrik.	21

Gambar 4.1. Hasil K_s yang diperoleh terhadap variasi medan listrik dan ketebalan.	26
Gambar 4.2. Distribusi arah magnetisasi dengan $E = -1$ V/nm dan $t_{free} = 1$ nm saat (a) keadaan awal sistem mengarah sumbu $+z$; (b) waktu yang ditempuh sebesar 0,5 ns, terbentuk 10 domain; (c) waktu yang ditempuh sebesar 2 ns, terbentuk 4 domain; dan (d) ketika sistem saturasi pada waktu 4 ns.....	29
Gambar 4.3. Distribusi arah magnetisasi pada variasi E , (a) $+3$ V/nm; (b) $+2$ V/nm; (c) $+1$ V/nm; (d) 0 V/nm; (e) -1 V/nm; (f) -2 V/nm; (g) -3 V/nm dengan $t_{free} = 0,5$ nm.	30
Gambar 4.4. Distribusi arah magnetisasi pada variasi E , (a) $+3$ V/nm; (b) $+2$ V/nm; (c) $+1$ V/nm; (d) 0 V/nm; (e) -1 V/nm; (f) -2 V/nm; (g) -3 V/nm dengan $t_{free} = 1$ nm.	30
Gambar 4.5. Distribusi arah magnetisasi pada variasi E , (a) $+3$ V/nm; (b) $+2$ V/nm; (c) $+1$ V/nm; (d) 0 V/nm; (e) -1 V/nm; (f) -2 V/nm; (g) -3 V/nm dengan $t_{free} = 1,5$ nm.	31
Gambar 4.6. Distribusi arah magnetisasi pada variasi E , (a) $+3$ V/nm; (b) $+2$ V/nm; (c) $+1$ V/nm; (d) 0 V/nm; (e) -1 V/nm; (f) -2 V/nm; (g) -3 V/nm dengan $t_{free} = 2$ nm.	32
Gambar 4.7. Konsep pengubahan arah magnetisasi. (a) Keadaan awal; (b) ketika mulai diberikan medan eksternal; dan (c) keadaan <i>ground state</i> [33].	32
Gambar 4.8. Grafik antara waktu saturasi dengan total energi dengan $E = -1$ V/nm dan $t_{free} = 1$ nm.	33

Gambar 4.9. Grafik antara variasi medan listrik dengan waktu saturasi yang ditempuh pada lapisan tipis MgO/Co/Ni dengan $t_{free} = 0,5$ nm; 1 nm; 1,5 nm; dan 2 nm.	34
Gambar 6.1. Hasil waktu saturasi terhadap komponen energi dengan $t_{free} = 1$ nm dan $E = -1$ V/nm.	40
Gambar 6.2. Hasil waktu saturasi terhadap energi PMA dengan $t_{free} = 1$ nm dan $E = -1$ V/nm.	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Parameter yang dimiliki oleh bahan kobalt dan nikel [26].....	17
Tabel 3.1. Parameter lapisan tipis kobalt/nikel yang digunakan untuk simulasi mikromagnetik [8, 31].....	20
Tabel 4.1. Hasil perhitungan <i>VCMA</i> program yang diterapkan.	24
Tabel 4.2. Hasil K_s dengan variasi medan listrik pada ketebalan $t_{free} = 0,5$ nm.....	27
Tabel 4.3. Hasil K_s dengan variasi medan listrik pada ketebalan $t_{free} = 1$ nm.....	27
Tabel 4.4. Hasil K_s dengan variasi medan listrik pada ketebalan $t_{free} = 1,5$ nm.....	28
Tabel 4.5. Hasil K_s dengan variasi medan listrik pada ketebalan $t_{free} = 2$ nm.....	28
Tabel 6.1. Data hasil simulasi dengan $t_{free} = 0,5$ nm.....	39
Tabel 6.2. Data hasil simulasi dengan $t_{free} = 1$ nm.....	39
Tabel 6.3. Data hasil simulasi dengan $t_{free} = 1,5$ nm.....	39
Tabel 6.4. Data hasil simulasi dengan $t_{free} = 2$ nm.....	40

DAFTAR SIMBOL DAN KONSTANTA

A	Konstanta <i>exchange</i>
B	Induksi magnet
C	Konstanta material Curie
D	Konstanta interaksi Dzyaloshinskii-Moriya
E	Medan listrik
E_m	Energi momen magnetik
E_{demag}	Energi demagnetisasi
E_{PMA}	Energi PMA efektif
g	Faktor Lande
H	Medan magnet eksternal
H_{ani}	Medan efektif dari anisotropi uniaksial
H_d	Medan demagnetisasi
H_{eff}	Medan magnet efektif
H_{SOC}	Hamiltonian <i>spin-orbit coupling</i> (SOC)
h	Konstanta Planck ($h = 6,626070150 \times 10^{-34}$ J.s)
i	Arus
K_s	Energi anisotropi pada <i>interface</i> lapisan tipis dengan insulator
K_U	Konstanta Anisotropi
l	Momentum angular
M	Magnetisasi
M_s	Magnetisasi saturasi
M_z	Komponen Cartesian dari magnetisasi M
m	Momen magnet
m_e	Massa elektron ($m_e = 9,10938215 \times 10^{-31}$ Kg)
$\mathcal{N}$	Tensor demagnetisasi
q	Muatan elektron ($q = 1,602176487 \times 10^{-19}$ C)
S	Momentum spin
T_C	Temperatur Curie
t_{free}	Ketebalan <i>free layer</i>
$\mathcal{U}_{\text{ani}}$	Energi uniaksial anisotropi

V	Volume
$V(r)$	Energi potensial
$VCMA$	Besaran medan listrik yang diterapkan pada program
α	Konstanta damping
β	Koefisien VCMA
γ	Rasio <i>gyromagnetic</i>
ε	Kerapatan energi rata-rata atau total energi
η	Parameter damping yang menjelaskan karakteristik dari material
μ_0	Konstanta permeabilitas ruang hampa ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m)
$\xi(r)$	Konstanta SOC
τ	Torka
ω	Frekuensi sudut