

Limit Efek Stochastik untuk *Thermally Assisted Magnetization Reversal*

Hanin Firdausi, Utari, dan Budi Purnama*

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126

Intisari

Evaluasi limit stochastik untuk *thermally assisted magnetization reversal* (TAMR) dibahas pada paper ini. Simulasi ini dilakukan dengan menyelesaikan persamaan *Landau-Lifshitz-Gilbert* (LLG) dengan asumsi nanopartikel CoPtCr magnetik dengan anisotropi tegaklurus sebagai *storage cell memory*. Magnetisasi mulai searah dengan medan eksternal sebesar $H = 2,0$ kOe, saat temperatur penulisan sebesar $T_W = 95,2\%T_C$ dan meningkat terus hingga hingga 85% saat $T_W = 97,86\%T_C$. Sehingga keadaan ini ($T_W = 97,86\%T_C$) dianggap sebagai batas limit stochastik untuk TAMR pada penelitian ini. Akhirnya, peningkatan temperatur penulisan 99,97% T_C hanya menaikkan prosentase M_X searah medan eksternal H sebesar 10%.

Abstract

Evaluation of stochastic limit for thermally assisted magnetization reversal (TAMR) discussed in this paper. This simulation is done by solving the equation Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) assuming nanoparticles CoPtCr perpendicular magnetic anisotropy as a memory cell storage. The magnetization direction aligning along to the external field direction of $H = 2.0$ kOe started when the writing temperature T_W is $95.2\%T_C$ and increased steadily up to 85% when $T_W = 97.86\%$ of T_C . So that this condition ($T_W = 97.86\%$ of T_C) is regarded as the limit of stochastic for TAMR in this study. Finally, the writing temperature increase of $99.97\%T_C$ only raise the percentage of M_X in the direction of the external field H by 10%.

KATA KUNCI: TAMR, anisotropi tegaklurus, stochastic, temperatur penulisan

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi saat ini menuntut ketersediaan media perekaman dan memori dengan kapasitas yang sangat besar. Memori berbasis bahan magnetik atau *magnetic random access memory* (MRAM) adalah salah satu kandidat mengingat bersifat *non-volatile* dan *no-endurance time*. Guna merealisasikan memori tersebut, ukuran sel magnetik harus dipattern dalam orde nanometer, namun demikian bahan magnetik pada orde-nanometer tersebut magnetisasinya berfluktuasi akibat panas. Untuk mengatasi kestabilan termal tersebut bahan magnetik anisotropi tinggi menjadi pilihan sulit yang tidak bisa dihindarkan [1, 2]. Namun demikian, medan yang dibutuhkan untuk *switching* menjadi besar. Untuk mengatasi masalah ini, *thermally assisted magnetization reversal* (TAMR) adalah salah satu solusi yang dapat diambil.

Sistem TAMR diharapkan dapat menjadi teknik alternatif untuk media penyimpanan karena sistem ini memiliki densitas dan kecepatan tinggi yang ordenya mencapai orde Gbit/s [3]. Ide dasar dari sistem ini yaitu dengan melakukan pemanasan sesaat dengan pulsa panas (durasi nano sekon) pada *storage memory* hingga mendekati temperatur Curie. Ketika *storage memory* mengalami proses pendinginan cepat orde nano sekon hingga ke temperatur ruang, medan reversal dipasang sehingga magnetisasi disimpan pada temperatur ru-

ang yang dianggap sebagai data informasi [4–7]. Meskipun mekanisme penurunan medan dibutuhkan panas hingga saat ini masih belum diketahui secara pasti, namun potensi aplikasi sudah terbuka lebar khususnya pada medium perekaman dan MRAM.

Pada paper ini akan didiskusikan limit efek stochastik akibat panas agar sistem TAMR bekerja efektif. Kajian simulasi mikromagnetik ini dengan menyelesaikan persamaan *Landau-Lifshitz-Gilbert* (LLG) [8]. Efek stochastik panas dievaluasi dengan menaikkan temperatur penulisan memori pada *storage memory* sistem TAMR [9]. Skema *double pulse writing* dipakai dalam keseluruhan simulasi dengan durasi waktu pulsa medan dipilih konstan ketika proses *writing cooling* berlangsung dari keadaan mendekati temperatur Curie hingga temperatur ruangan.

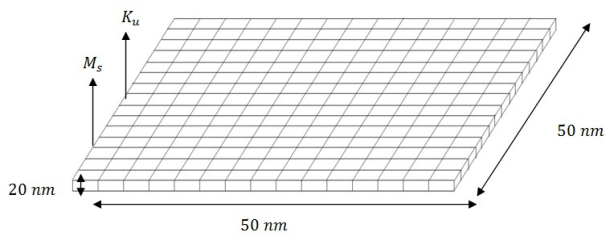
II. METODOLOGI

Simulasi ini berdasarkan pada penyelesaian persamaan *Landau-Lifshitz-Gilbert* (LLG) seperti ditunjukkan pada Pers.(1)

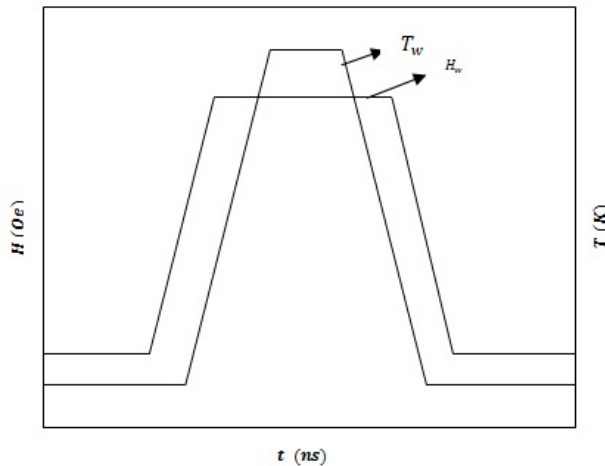
$$\frac{dM}{dt} = -\frac{|\gamma|}{(1+\alpha)^2} M \times H_{eff} - \frac{|\gamma|\alpha}{(1+\alpha)^2 |M|} M \times (M \times H_{eff}) \quad (1)$$

dengan pendekatan metode beda-hingga (*finite element*) dalam bentuk 3 dimensi [10]. Dari simulasi tersebut magneti-

*E-MAIL: bpurnama@mpa.uns.ac.id



Gambar 1: Permodelan bentuk nanodot.

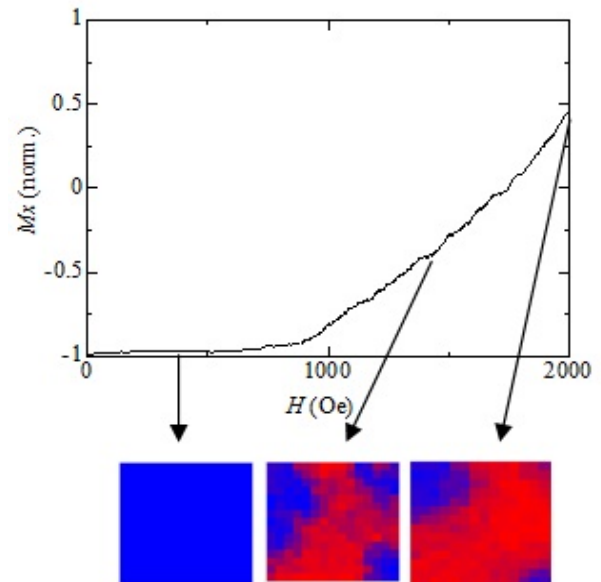


Gambar 2: Skema *Thermally Assisted Magnetization Reversal* yang digunakan.

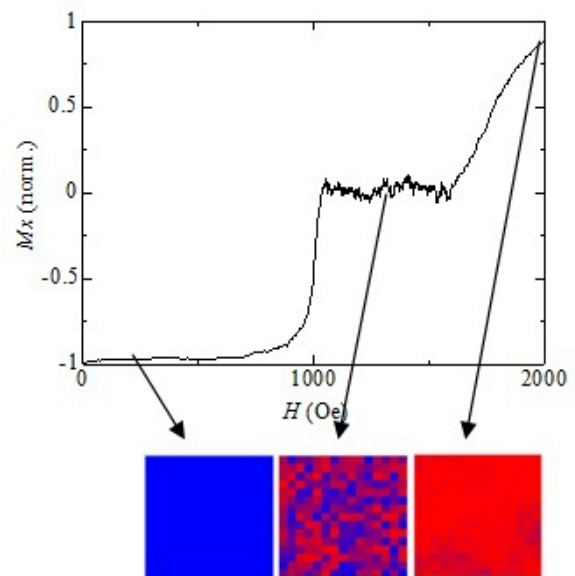
sasi pada material ferromagnetik dapat diamati dari perubahan struktur domain yang terjadi. Konsep dasar dinamika magnetisasi yaitu suatu momen magnet m akan mendapat pengaruh dari medan magnet luar H sehingga akan menghasilkan torsi yang arahnya tegak lurus dengan momen magnet dan medan magnet [11]. Pada simulasi ini nanodot magnetik dengan anisotropi magnetik tegak lurus ditinjau sebagai *storage memory*.

Pada Gambar 1 menunjukkan model nanodot dalam bentuk persegi dengan dimensi $(50 \times 50 \times 20) \text{ nm}^3$. Penentuan dalam unit sel dan ketergantungan besaran fisika terhadap temperatur mengikuti penelitian sebelumnya [5]. Mula-mula, keadaan awal dalam konfigurasi single domain diasumsikan. Kemudian beriringan dengan kenaikan temperatur menuju temperatur pembacaan (*writing temperature*, T_w), konfigurasi magnetik berubah menjadi acak. Keadaan ini dapat ditinjau sebagai panas yang dimasukkan cukup memberikan efek stokastik sehingga ketika temperatur diturunkan ke temperatur ruang dalam proses penulisan dengan orientasi medan berlawanan arah *single domain* mula-mula, medan yang diperlukan adalah minimal.

Diagram skematik model TAMR yang dilakukan ditampilkan pada Gambar 2. Perhitungan dilakukan dengan 20 bilangan random yang berbeda untuk memastikan keadaan acak yang berbeda akibat panas memberikan hasil sama. Pada simulasi ini diasumsikan bahwa nanopartikel yang digunakan yaitu CoPtCr dengan konstanta anisotropi (K) adalah 2×10^6



(a)



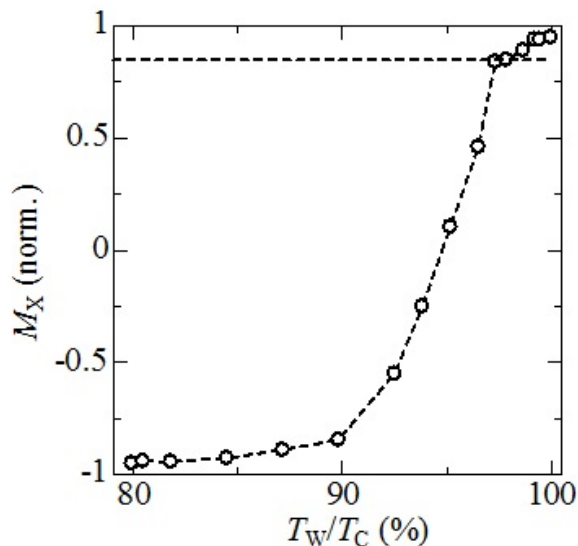
(b)

Gambar 3: Probabilitas *switching* sebagai fungsi dari medan yang diberikan dengan suhu sebesar (a) 360 K (b) 372,9 K dengan $H = 2000 \text{ Oe}$, $\Delta t = 2,5 \text{ ns}$.

erg/cc dan $4\pi MS = 3,75 \text{ kG}$. *Stiffness constant* ditetapkan sebesar $3,6 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ dan durasi waktu pendinginan (*cooling time*) ditentukan sebesar 100 ps. Medan magnet H yang digunakan pada keseluruhan simulasi sebesar 2,0 kOe.

III. HASIL DAN DISKUSI

Gambar 3 menunjukkan hasil TAMR untuk dua temperatur penulisan berbeda yaitu proses penulisan pada tempera-



Gambar 4: Evaluasi limit efek *stochastic* dengan mengamati prosentasi magnetisasi M_X sebagai fungsi temperatur penulisan T_W dibawah pengaruh medan magnet sebesar 2000 Oe.

tur 96,54% T_C (Gambar 3(a)) dan 99,97% T_C (Gambar 3(b)). Teramati dengan jelas bahwa pada Gambar 3(a) magnetisasi reversal tidak terjadi karena medan yang diperlukan terlalu kecil atau temperatur penulisan belum memberikan efek *stochastic* minimum guna berlangsung penyearahan ke orientasi medan magnet eksternal H. Berdasarkan visual tahapan reversal juga teramati bahwa efek *stochastic* dibawah medan magnet H baru menghadirkan pembentukan domain magnetik tanpa reversal. Proses perambatan dinding domain selama proses menghasilkan keadaan akhir berupa konfigurasi multi domain magnetik.

Kontras teramati pada Gambar 3(b) pulsa panas cukup memberikan efek *randomly magnetized state* sehingga terjadi re-orientasi keadaan magnetik mengikuti arah medan magnet eksternal H dengan hasil reversal pada konfigurasi *single domain* magnetik. Pengamatan visual dalam bentuk mikromagnetik semakin menegaskan hasil ini. Efek *stochastic* menghadirkan semacam *randomly antiferromagnetic state* ke seluruh area *storage memory* sebelum kemudian membentuk kon-

figurasi *single domain* magnetik di akhir proses. Kenyataan hasil ini dapat dikatakan bahwa panas cukup memberikan *stochastic* sehingga medan eksternal H dengan nilai sama dengan kasus sebelumnya, berhasil merealisasikan reversal. Hasil ini memberikan arahan guna mengamati limit efek *stochastic* pada skema TAMR.

Hasil evaluasi limit efek *stochastic* disajikan pada Gambar 4. Teramati dengan jelas pada saat perbandingan temperatur penulisan dengan temperatur Curie $T_W/T_C = 80\%$, medan sebesar $H = 2.0$ kOe tidak mampu mengubah keadaan mula-mula konfigurasi magnetik. Peningkatan temperatur hingga 90% T_C baru meningkatkan rasio reversal sebesar 5,25% $(= (95-84.5)/2\%)$. Efek *stochastic* meningkat drastik pada rentang temperatur penulisan $T_W = 90\%T_C$ sampai dengan 97,3% T_C . Pada temperatur penulisan $T_W = 95,2\%T_C$, M_X mulai mengikuti orientasi medan eksternal H sebesar 10,5% dan meningkat terus hingga hingga 85% saat $T_W = 97,86\%T_C$. Pada keadaan ini, semua orientasi mikromagnetik sudah searah dengan medan magnet eksternal H. Peningkatan temperatur penulisan T_W hingga 99,97% T_C hanya menaikkan prosentase M_X searah medan eksternal H sebesar 10%. Hasil ini menegaskan bahwa terdapat limit batas minimal temperatur penulisan T_W guna poses TAMR berlangsung, yaitu M_X sebesar 85%.

IV. SIMPULAN

Evaluasi limit *stochastic* untuk *thermally assisted magnetization reversal* (TAMR) dibahas pada makalah ini. Simulasi ini dilakukan dengan menyelesaikan persamaan *Landau-Lifshitz-Gilbert* (LLG) dengan asumsi nanopartikel CoPtCr magnetik dengan anisotropi tegaklurus sebagai *storage cell memory*. Magnetisasi mulai searah dengan medan eksternal sebesar $H = 2,0$ kOe, saat temperatur penulisan sebesar $T_W = 95,2\%T_C$ dan meningkat terus hingga hingga 85% saat $T_W = 97,86\%T_C$. Sehingga keadaan ini ($T_W = 97,86\%T_C$) dianggap sebagai batas limit *stochastic* untuk TAMR pada penelitian ini. Akhirnya, peningkatan temperatur penulisan 99,97% T_C hanya menaikkan prosentase M_X searah medan eksternal H sebesar 10%.

[1] K. Matsumoto, A. Inomata, and S. Hasegawa, *Fujitsu Sci. Tech. J.*, **42**(1), 158-167, (2006).
 [2] K. Waseda, *et al.*, *IEEE Transaction on Magnetics*, **44**(11), 2483-2486 (2008).
 [3] Y. Nozaki, *et al.*, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, **30**(6-2), 574-577 (2006).
 [4] B. Purnama, *et al.*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **321**, 1325-1330 (2009).
 [5] W. Sadnawanto, and Budi Purnama, *Journal of Physics: Conference Series*, **539**, 012024 (2014).
 [6] D. Suess, *et al.*, *Journal of Applied Physics*, **117**, 163913 (2015).

[7] R.C. Sousa, I.L. Prejbeanu, Preprint submitted to Elsevier Science, (2005).
 [8] A. Thiaville, *et al.*, *Europhysics . Lett.*, **69**(6), 990-996 (2005).
 [9] Ismail, *Studi Mikromagnetik Proses Magnetisasi dan Spektrum Suseptibilitas Ferromagnetik Elemen Diamod-Shaped*, Thesis, Universitas Indonesia, Depok, 2013.
 [10] T.L. Gilbert, *IEEE Transaction on Magnetic*, **40**(6), 3443-3449 (2004).
 [11] G. Binasch, *et al.*, *The American Physical Society*, **39**(7), (1989).