

Modifikasi Model Heating pada *Heat Assisted Magnetic Recording* (HAMR) Nano Partikel Magnetik

Wisnu Sadnawanto,* Cari, dan Budi Purnama†

Prodi Fisika Fakultas Pascasarjana, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No 36A Surakarta 57126

Intisari

Modifikasi skema mekanisme heat assisted magnetic recording (HAMR) yaitu sistem magnetisasi berbantuan panas untuk menurunkan medan switching telah dilakukan. Bahan magnetik dengan anisotropi tegak lurus tinggi yaitu CoPtCr ditinjau sebagai cell memori pada sistem hard disk drive (HDD). Penyelesaian persamaan Landau-Lifshitz-Gilbert dalam program simulasi mikromagnetik digunakan untuk menghitung medan switching pada beragam modifikasi skema HAMR. Tiga skema modifikasi HAMR diusulkan berdasar pada pola penulisan data pada suhu tinggi (yaitu mendekati suhu Curie). Hasil simulasi memperlihatkan bahwa penulisan data pada medan konstan membutuhkan medan switching terendah. Selbihnya, fluktuasi medan switching akibat modifikasi efek panas relatif kecil dibandingkan dua skema lainnya.

Abstract

Modification of schematic mechanism in heat assisted magnetic recording (HAMR) i.e. magnetization assisted pulse heating for lowering switching field have been done. Material owing high perpendicularly anisotropy magnetic material i.e. CoPtCr was considered as storage cell memory of hard disk drive (HDD) system. Micromagnetic simulation by solving Landau-Lifshitz-Gilbert equation was used to calculate switching field for variation of modified HAMR schemes. Three scheme of HAMR modification was proposed based on the pattern of writing data at high temperature (ie approaching the Curie temperature). Simulation results were shown that the data writing on a constant field required low switching field. Moreover, the switching field fluctuations due to thermal effects were relatively minor compared to the other two schemes.

KATA KUNCI: perpendicularly anisotropy magnetic, micromagnetic, Landau-Lifshitz-Gilbert, heat assisted magnetic recording

I. PENDAHULUAN

Heat Assisted Magnetic Recording (HAMR) merupakan kata kunci untuk merealisasikan perekam magnetis berkapasitas ultra tinggi. Untuk merealisasikan hal tersebut, bahan magnet dengan nilai anisotropy tinggi diperlukan. Bahan magnetik ini dapat diperkecil hingga orde nanometer tanpa kehilangan sifat magnet akibat suhu. Sehingga harddisk dengan densitas sangat tinggi sampai dengan kapasitas terabyte berpeluang untuk diproduksi [1].

Secara umum, mekanisme penulisan sistem HAMR adalah laser-pulsa dengan daya tinggi diterapkan pada *storage cell memory* hingga temperatur mendekati temperatur Currie. Sesaat setelah pulsa dihentikan, ketika proses pendinginan menuju temperatur ruang berlangsung medan magnet pengimbas diterapkan sehingga orientasi magnetisasi *storage cell memory* searah dengan medan. Keadaan magnetisasi ini disimpan pada temperatur ruang sebagai data informasi. Banyak hasil studi melaporkan bahwa kecepatan distribusi *switching*, panas terlokalisir, maupun distribusi energi *barrier* diperlukan

di sepanjang arah magnetik agar medan magnet yang dibutuhkan nilainya cukup kecil [2–5].

Kondisi termagnetisasi secara acak akibat proses pemanasan hingga saat ini dianggap sebagai faktor utama rendahnya medan magnet yang dibutuhkan untuk terjadinya *switching* atau *reversal* (pembalikan). Faktor damping Gilbert merupakan faktor lain yang berkontribusi terjadinya kondisi termagnetisasi secara acak [6].

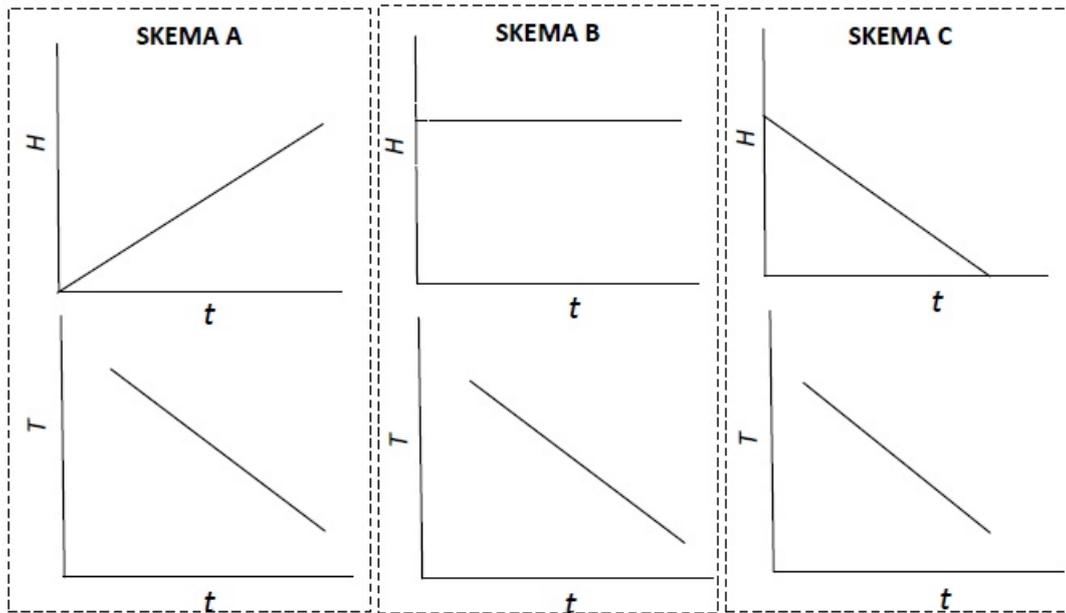
Pada paper ini, dilakukan modifikasi skema mekanisme HAMR untuk memperoleh sistem magnetisasi berbantuan panas dengan medan *switching* minimum. Modifikasi dibuat dengan menggunakan program simulasi mikromagnetik yang didasarkan penyelesaian Landau Lifshitz Gilbert.

II. METODOLOGI

Dalam studi ini dilakukan pengamatan perubahan arah magnetisasi terhadap kuat medan magnet selama proses pendinginan berlangsung. Keadaan inisial termagnetisasi acak menjadi pertimbangan bagi seluruh perhitungan yang dilakukan, dengan keadaan tersebut akibat pemanasan temperatur hingga mendekati temperatur Curie T_c . Pengaruh fluktuasi temperatur diperhitungkan dalam penyelesaian rumus LLG dalam bentuk faktor pengaruh dissipasi fluktuasi

*E-MAIL: wisnusadnawanto@yahoo.com

†E-MAIL: bpurnama@mipa.uns.ac.id



Gambar 1: Ragam model magnetisasi berbantuan panas yaitu skema A, B dan C.

[7]. Untuk menghitung probabilitas keadaan termagnetisasi terhadap arah medan magnet pada saat penulisan, maka simulasi dilakukan dengan 30 kali perhitungan dengan kuat medan yang acak. Dalam paper ini, digunakan bahan magnetik dengan anisotropi tegaklurus anisotropi CoPtCr dipandang sebagai media penyimpanan cell memori dengan dimensi $50 \text{ nm} \times 50 \text{ nm} \times 20 \text{ nm}$. Nilai konstanta anisotropi magnetik bahan ini K adalah $2 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ dan $4\pi M_S$ adalah $3,75 \text{ kG}$. Simulasi mikromagnetik dilaksanakan dengan menerapkan pulsa medan luar dengan durasi $2,5 \text{ ns}$. Sedangkan ketergantungan temperatur terhadap konstanta *exchange stiffness* dan anisotropi magnetik dihubungkan melalui rumus sebagai berikut [8]

$$\frac{A(T)}{A(T_0)} = \left[\frac{M(T)}{M(T_0)} \right]^2$$

$$\frac{K(T)}{K(T_0)} = \left[\frac{M(T)}{M(T_0)} \right]^2$$

Dalam keseluruhan simulasi ini digunakan temperatur moderat TC sebesar $432,9 \text{ K}$ Pada makalah ini skema model *heating* HAMR dimodifikasi guna memperoleh medan penulisan memori yang minimum pada HDD.

III. DISKUSI

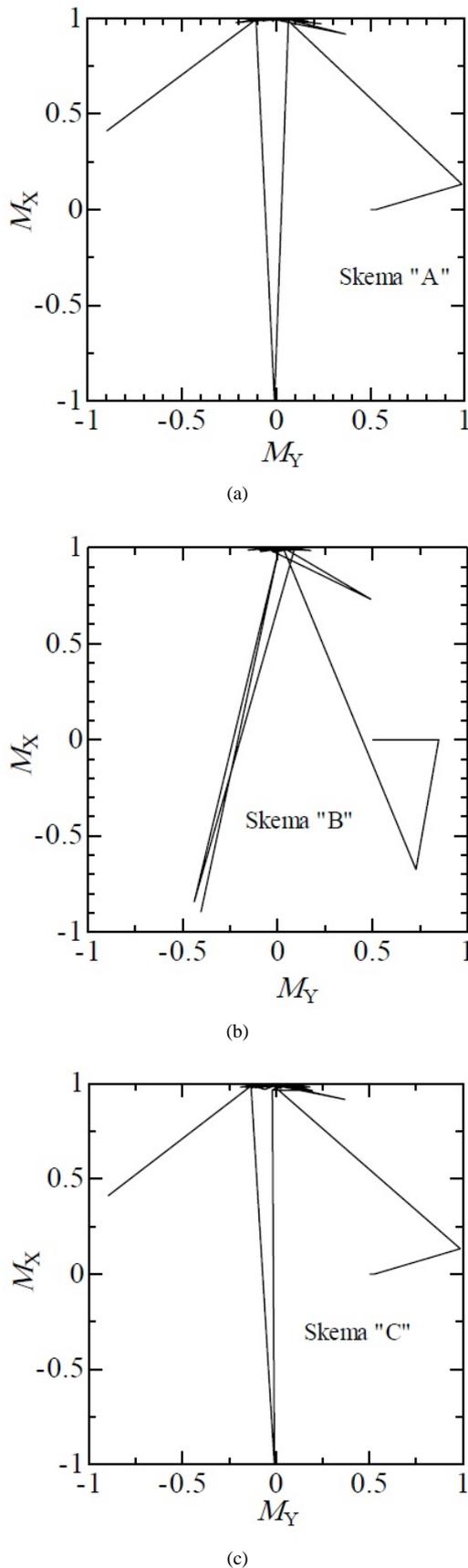
Dalam studi ini metode simulasi mikromagnetik diterapkan terhadap 3 ragam skema *thermally assisted* guna menentukan kuat medan magnet yang dibutuhkan bagi proses *switching* saat penulisan data pada bahan rekam. Dari ketiga skema *thermally assisted* akan dibandingkan dan ditentukan skema yang

membutuhkan medan *switching* terkecil untuk proses *switching*. Gambar 1 memperlihatkan 3 ragam skema *thermally assisted* yang diusulkan.

Skema pertama dilakukan dengan memberikan pulsa yang dibantu dengan panas dimana kondisi kuat medan magnet naik dengan temperatur menurun seiring berjalannya waktu (Skema A). Skema kedua adalah pada kondisi medan magnet konstan dengan temperatur menurun seiring berjalannya waktu (Skema B). Sedangkan skema ketiga dilakukan dengan kondisi medan magnet maupun temperatur menurun seiring berjalannya waktu (Skema C). Dari ketiganya akan ditentukan skema yang terbaik, yaitu nilai rasio penurunan medan yang digunakan untuk *switching* dengan medan *switching* tanpa skema HAMR terbesar. Dengan kalimat lain, skema yang memungkinkan medan yang diperlukan untuk *switching* pada konfigurasi HAMR terkecil.

Gambar 2 memperlihatkan tipikal *trajectory randomly magnetized state* akibat proses heating dalam representasi komponen M_X - M_Y untuk tiga (3) modifikasi skema HAMR yaitu A, B dan C. Derajat *randomly magnetized state* pada skema HAMR dipandang sebagai salah satu faktor utama penurunan medan yang dibutuhkan untuk menyearahkan magnetisasi searah medan eksternal (ekivalen dengan medan *switching*).

Pada skema A, tipikal *trajectory randomly magnetized state* terlihat hampir mirip dengan skemaC, dengan nilai M_X berfluktuasi dari nilai 1 dan -1. Sedangkan *trajectory randomly magnetized state* komponen M_Y membentang dari nilai -1 hingga +1 tanpa disertai osilasi fluktuasi. Hal berbeda teramati pada skema B. Fluktuasi osilasi *trajectory randomly magnetized state* komponen M_X dominan untuk keseluruhan proses HAMR. Mengingat komponen anisotropi bahan magnetik pada orientasi sumbu-x, kenyataan hasil ini memberi arahan bahwa mekanisme *heating* skema B ini akan mem-



Gambar 2: tipikal trajectory randomly magnetized state direpresentasi komponen M_X - M_Y untuk (a) skema A, (b) skema B dan (c) skema C.

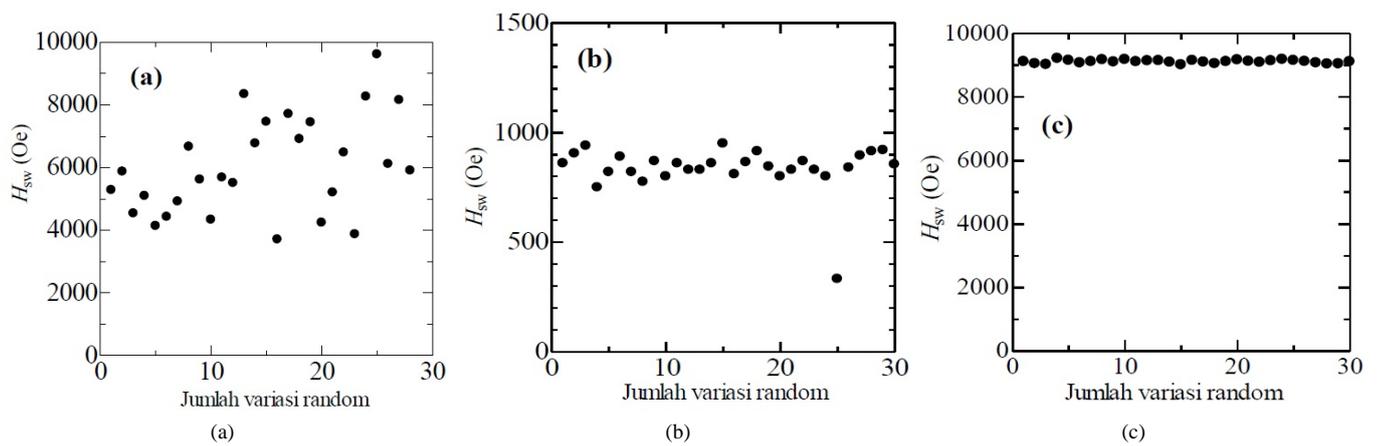
TABEL I: Nilai rata-rata H_{SW} dari 3 skema HAMR dihitung untuk 30 variasi random.

| Skema | H_{SW} rata-rata (Oe) |
|-------|-------------------------|
| A | 6000 |
| B | 836 |
| C | 9112 |

berikan penurunan medan lebih efektif dibandingkan dua skema HAMR lainnya. Terlihat bahwa M_X bergerak naik relatif lebih cepat daripada pertambahan M_Y . Dan hingga saat terjadinya *switching* pun M_X tidak mengalami penurunan, kecuali setelah terjadinya *switching*. Penurunan harga M_X ini pun relatif lebih menukik dibandingkan skema A dan B.

Untuk klarifikasi hasil kinerja skema HAMR yang diusulkan, simulasi dilakukan untuk menghitung medan minimum yang dibutuhkan *switching* pada sistem storage HDD berbasis read-write HAMR. Guna memastikan *thermal stochastic effect* dan ketidakhomogenan (*non uniformity*) medan magnet akibat fluktuasi panas memberi sumbangan yang sama dalam simulasi, maka nilai akhir H_{sw} dihitung untuk 30 variasi random. Gambar 3 memperlihatkan hasil perhitungan medan minimum yang diperlukan momen magnetik untuk searah dengan medan magnet pengimbas yang disebut dengan medan *switching* (H_{SW}). Sinyal hasil sebelumnya terungkap pada kurva ini, yaitu H_{SW} minimum diperoleh untuk Skema B. Pada skema B ini, dari 30 sekuen variasi random keadaan awal magnetisasi dan *random magnetic field*, rata-rata H_{SW} dicapai adalah 836 Oe. Hasil ini memberi informasi bahwa sistem cukup homogen merespon panas yang diberikan. Sedangkan untuk skema A modifikasi random memberikan nilai H_{SW} berfluktuasi antara nilai 3700 Oe hingga 9600 Oe. Artinya respon sistem terhadap *thermal stochastic effect* dan ketidakhomogenan (*non uniformity*) medan magnet akibat fluktuasi panas sangat sensitif. Mengingat nilai fluktuasi sangat lebar, maka realisasi skema ini akan sangat sulit dalam prakteknya. Sedangkan skema C, rata-rata H_{SW} memberikan nilai 9112 Oe dengan fluktuasi kurang dari 100 Oe. Meskipun sistem memberikan respon stabil terhadap efek panas, namun ternyata nilai rata-rata H_{SW} besar.

Kenyataan hasil yang diungkapkan Tabel I ini semakin menegaskan bahwa skema B adalah model *heating* yang memberikan nilai H_{SW} rendah dengan respon fluktuasi medan magnet homogen. Dengan skema B nilai medan pengimbas luar yang digunakan untuk menyetarakan momen magnetik yaitu hanya 13% dari H_{SW} skema A. Jika sistem diasosiasikan sebagai *storage memory* sebuah HDD, maka proses penyimpanan informasi sebanyak 0,4 GB dalam satu detik dapat dilakukan dibawah medan pengimbas kurang dari 1 kOe.



Gambar 3: Evaluasi nilai HSW sebagai fungsi jumlah variasi random pada sistem HAMR.

IV. SIMPULAN

Modifikasi skema heating pada *heat assisted magnetic recording* (HAMR) yaitu sistem magnetisasi berbantuan panas untuk menurunkan medan switching telah dipaparkan pada makalah ini. Modifikasi skema HAMR menjadi fokus kajian. Tiga skema modifikasi HAMR diusulkan berdasar

pada pola penulisan data pada temperatur tinggi (yaitu mendekati temperatur Curie). Perbandingan ketiga skema HAMR memperlihatkan bahwa data pada medan konstan (skema HAMR B) membutuhkan medan switching terendah. Selibuhnya, fluktuasi medan switching akibat modifikasi efek panas relatif kecil dibandingkan dua skema lainnya.

[1] U. Kilic, *et al.*, Appl Phys. Letters, **101**, 252407-1:5 (2012).

[2] R.H. Victora, and P.-W. Huang, IEEE Trans.Magn., **49**, 751-757 (2013).

[3] L. Huang, *et al.*, IEEE Trans. Magn. **49**, 2565-2568 (2013).

[4] D. Li, *et al.*, IEEE Trans.Magn., **49**, 3576-3579 (2013).

[5] O. Ozatay, *et al.*, Appl Phys. Letters, **95**, 172502-1:4 (2009).

[6] W. Sadnawanto, and B. Purnama, Journal of Physics: Conference Series, **539**, 012024 (2014).

[7] W.F. Brown Jr, Phys.Rev., **130**, 1677-1686 (1963).

[8] M. Mansuripur, and G.A.N. Connel, J. Appl.Phys, **55**, 3049-3055 (1984)