

## MODIFIKASI MODEL *THERMALLY* PADA *HEAT ASSISTED* MAGNETISASI REVERSAL NANO PARTIKEL MAGNETIK

W Sadnawanto<sup>✉</sup> Cari, B Purnama

Prodi Fisika Fakultas Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta, Indonesia

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*  
Diterima Agustus 2014  
Disetujui September 2014  
Dipublikasikan Oktober 2014

*Keywords:*  
anisotropi magnetik  
tegaklurus, mikromagnetik,  
Landau-Lifshitz-Gilbert,  
heat assisted magnetic  
recording

### Abstrak

Modifikasi skema mekanisme *Heat Assisted Magnetic Recording* (HAMR) adalah 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. Sebaliknya, fluktuasi medan *switching* akibat modifikasi efek panas relatif kecil dibandingkan dua skema lainnya.

### Abstract

*The modification of Heat Assisted Magnetic Recording (HAMR) mechanism scheme i.e. the heat-assisted magnetization to reduce the switching field has been done. Magnetic material with high right-corner anisotropy i.e. CoPtCr has been reviewed as memory cell in a Hard Disk Drive (HDD) system. The completion Landau-Lifshitz-Gilbert equation in a micromagnetic simulation program is used to calculate the switching field in various HAMR scheme modifications. Three HAMR scheme modifications is proposed based on data writing pattern at high temperature (i.e. close to Curie temperature). Simulation result showed that data writing in a constant field needs lowest switching field. Moreover, switching field fluctuation caused by the modification of heat effect is the lowest compared to other schemes.*

© 2014 Universitas Negeri Semarang

<sup>✉</sup> Alamat korespondensi:  
E-mail: wisnusadnawanto@yahoo.com

## 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 (Killic *et al* 2012).

Secara umum, mekanisme penulisan sistem HAMR adalah laser-pulsa dengan daya tinggi diterapkan pada *storage cell memory* hingga suhu mendekati suhu Currie. Sesaat setelah pulsa dihentikan, ketika proses pendinginan menuju suhu ruang berlangsung medan magnet pengimbas diterapkan sehingga orientasi magnetisasi *storage cell memory* searah dengan medan. Keadaan magnetisasi ini disimpan pada suhu 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 (Victoria & Huang 2013, Huang *et al* 2013, Li *et al* 2013, Ozatay *et al* 2009).

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

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

## METODE PENELITIAN

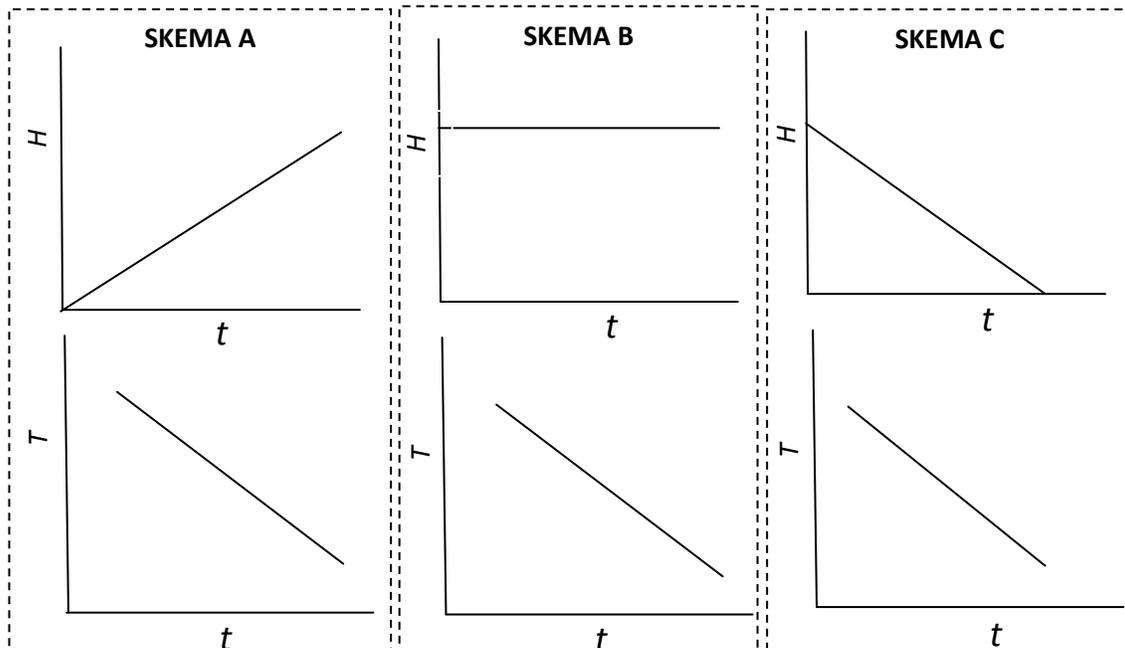
Dalam studi ini dilakukan pengamatan perubahan arah magnetisasi terhadap kuat medan magnet selama proses pendinginan berlangsung. Keadaan inisial termagnetisasi acak menjadi pertimbangan bagi seluruh perhitungan yang dilakukan. Dengan keadaan tersebut akibat pemanasan suhu hingga mendekati suhu Curie  $T_c$ . Pengaruh fluktuasi suhu diperhitungkan dalam penyelesaian rumus LLG dalam bentuk faktor pengaruh dissipasi fluktuasi (Brown 1963). Untuk menghitung probabilitas keadaan termagnetisasi terhadap arah medan magnet pada saat penulisan, maka simulasi dilakukan dengan 50 kali perhitungan dengan kuat medan yang acak. Dalam paper ini, digunakan bahan magnetik dengan anisotropi tegak lurus anisotropi CoPtCr dipandang sebagai media penyimpan *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 kG. Simulasi mikromagnetik dilaksanakan secara sistematis dengan menerapkan pulsa medan luar dengan durasi pulsa bervariasi dari 25 ps hingga 1 ns. Sedangkan ketergantungan suhu terhadap konstanta *exchange stiffness* dan anisotropi magnetik dihubungkan melalui persamaan sebagai berikut (Mansuripur & Connel 1984)

$$A(T)/A(T_0) = [M(T)/M(T_0)]^2 \quad (1)$$

$$K(T)/K(T_0) = [M(T)/M(T_0)]^2 \quad (2)$$

Dalam keseluruhan simulasi ini digunakan suhu moderat  $T_c$  sebesar 432,9 K. Proses HAMR dilakukan dengan cara pendinginan cepat dari keadaan suhu mendekati suhu Curie menuju suhu ruang. Pada makalah ini penerapan medan magnet dimodifikasi guna memperoleh medan-penulisan memori yang minimum pada HDD.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

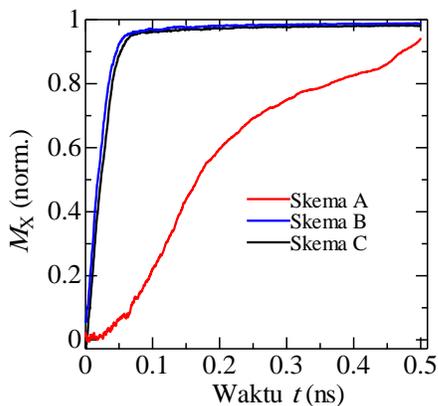


Gambar 1. Ragam mode magnetisasi berbantuan panas yaitu “A”, “B” dan “C”.

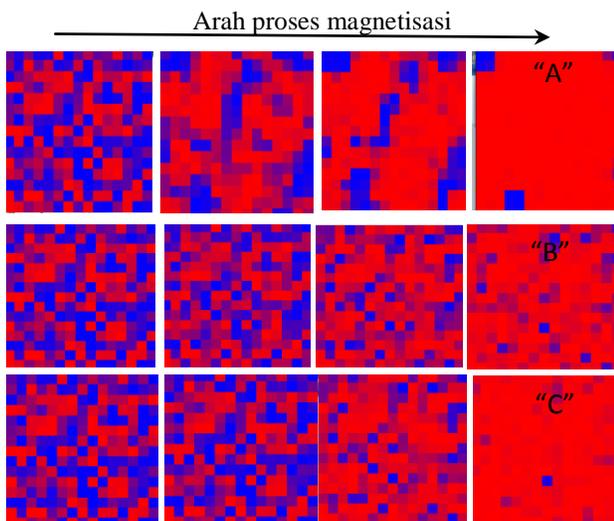
Dalam studi ini metode simulasi mikromagnetik diterapkan terhadap tiga ragam skema *thermally assisted* guna menentukan kuat medan magnet yang dibutuhkan bagi proses reversal saat penulisan data pada bahan rekam. Dari ketiga skema *thermally assisted* akan dibandingkan dan ditentukan skema yang membutuhkan medan reversal terkecil untuk proses reversal. Gambar 1 memperlihatkan tiga ragam skema *thermally assisted* yang diusulkan.

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

Tipikal perbedaan proses magnetisasi dari 3 skema HAMR di atas diperlihatkan oleh Gambar 2. Teramati dengan jelas bahwa proses magnetisasi reversal skema B dan C hampir mirip, yaitu proses reversal hampir seluruhnya terpenuhi untuk durasi waktu mendekati 0,1 ns. Pada skema C untuk dapat terpenuhi proses reversal secara menyeluruh memerlukan waktu 0,5 ns. Perbedaan ini diakibatkan karena perbedaan mode reversal. Skema B dan C magnetisasi lebih mendekati magnetisasi spontan melalui pembentukan domain tunggal. Sedangkan skema A lebih mendekati depinning domain yaitu magnetisasi berlangsung melalui tahapan pembentukan domain magnetik dilanjutkan perambatan dinding domain dengan diperoleh konfigurasi domain tunggal. Akibatnya waktu yang dibutuhkan untuk kejadian magnetisasi reversal menjadi lebih lama dengan konsekuensi medan yang diperlukan untuk penulisan informasi juga lebih besar.



**GAMBAR 2.** Perbedaan pola dan waktu yang dibutuhkan bagi ketiga skema untuk menyelesaikan proses reversal pada skema HAMR.



**GAMBAR 3.** Tahapan magnetisasi reversal yang diungkapkan melalui visualisasi mikro-graf untuk tipikal 3 skema yang diusulkan yaitu skema HAMR "A", "B" dan "C".

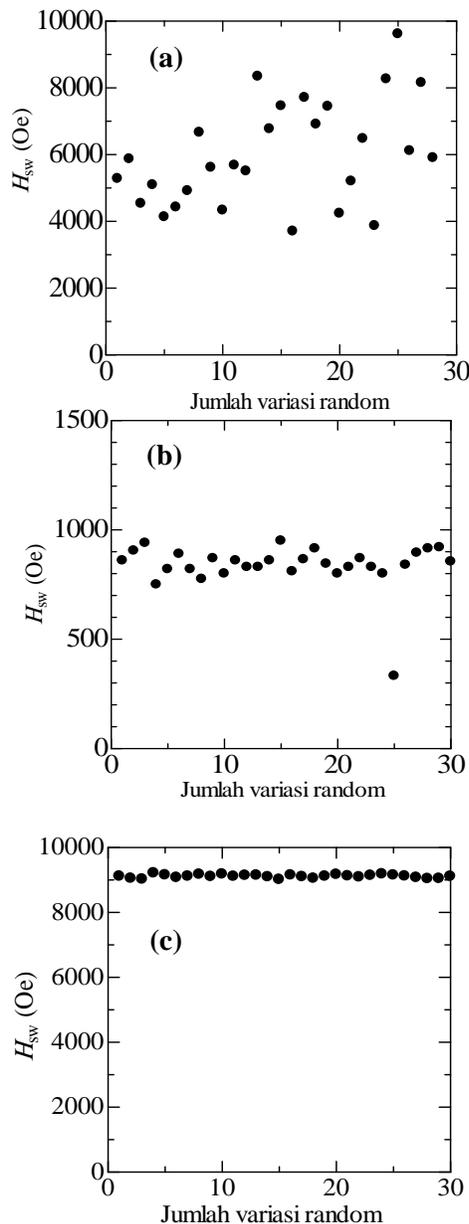
Mekanisme magnetisasi reversal untuk ketiga skema HAMR juga dapat diamati melalui visualisasi gambar mikromagnetik seperti diungkapkan Gambar 3. Warna biru menunjukkan kondisi orientasi magnetik yang berlawanan dengan medan pengimbas luar. Adapun warna merah menunjukkan sebaliknya. Keadaan awal menunjukkan kondisi acak magnetisasi akibat panas. Kemudian secara berangsur terjadi pendinginan menuju suhu ruang hingga seluruh unsur magnetik memiliki orientasi yang searah dengan medan reversal. Skema B dan C, konfigurasi domain tunggal direalisasi melalui *nukleasi-anihilasi* domain pada bagian dimensi *lateral* secara acak

akibat *thermal stochastic effect* dengan tanpa membentuk pola tertentu untuk menuju konfigurasi domain tunggal. Pada skema A, mula-mula domain nukleasi dimulai pada bagian tengah. Selanjutnya domain wall merambat keseluruh dimensi lateral dan diakhiri domain wall anihilasi yang memberikan konfigurasi domain tunggal karena ketidak-*homogen-an (non uniformity)* medan magnet akibat fluktuasi panas.

Untuk mengevaluasi kinerja skema HAMR yang diusulkan, simulasi dilakukan untuk menghitung medan minimum yang dibutuhkan reversal. Pada simulasi ini, ketika orientasi magnetisasi searah medan magnetik pengimbas luar mencapai 85%, maka realisasi akhir gambar mikromagnetik telah memperlihatkan konfigurasi domain tunggal. Sehingga kriteria ini digunakan untuk mendefinisikan medan minimum yang dibutuhkan untuk reversal ( $H_{sw}$ ). Guna memastikan *thermal stochastic effect* dan ketidak-*homogen-an (non uniformity)* medan magnet akibat fluktuasi panas memberi sumbangan yang sama dalam simulasi, maka nilai akhir  $H_{sw}$  dihitung untuk 30 variasi random. Hasil simulasi dapat diperlihatkan pada Gambar 4.

Gambar 4a memperlihatkan distribusi  $H_{sw}$  dihitung untuk 30 jumlah variasi random. Teramati dengan jelas bahwa modifikasi random memberikan perbedaan nilai  $H_{sw}$  berfluktuasi antara nilai 3700 Oe hingga 9600 Oe. Artinya respon sistem terhadap *thermal stochastic effect* dan ketidak-*homogen-an (non uniformity)* medan magnet akibat fluktuasi panas sangat sensitif. Mengingat nilai fluktuasi sangat lebar, maka realisasi skema ini akan sangat sulit dalam prakteknya. Gambar 4b adalah ekspresi lain  $H_{sw}$  sebagai fungsi jumlah variasi random untuk skema HAMR "B". Teramati dari gambar bahwa nilai  $H_{sw}$  berfluktuasi 100 Oe di sekitar nilai 850 Oe. Hasil ini memberi informasi bahwa sistem cukup homogen merespon panas yang diberikan. Nilai  $H_{sw}$  yang diperoleh juga sangat kecil dari sudut pandang sistem *HDD recording* media. Sedangkan skema HAMR "C", evaluasi  $H_{sw}$  terhadap 30 jumlah variasi random memberikan nilai 9000 Oe dengan fluktuasi kurang dari 100 Oe. Meskipun sistem memberikan respon stabil terhadap efek panas, namun  $H_{sw}$  cukup besar. Dari analisis ketiga skema HAMR yang diusulkan

maka skema “B” adalah skema yang paling berpeluang dalam merealisasikan *high density* HDD.



**GAMBAR 4.** Evaluasi skema HAMR yaitu (a) skema “A”, (b) skema “B” dan (c) skema “C” untuk menghitung medan magnet minimum yang dibutuhkan guna reversal.

## PENUTUP

*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 suhu tinggi (yaitu mendekati suhu Curie). Perbandingan ketiga skema HAMR memperlihatkan bahwa data pada medan konstan (skema HAMR “B”) membutuhkan medan *switching* terendah. Selebihnya, fluktuasi medan *switching* akibat modifikasi efek panas relatif kecil dibandingkan dua skema lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brown Jr WF. 1963. Thermal Fluctuations of a Single-Domain Particle. *Phys.Rev.* 130: 1677
- Huang L, Stipe B, Staffaroni M, Juang J-Y, Hirano T, Schreck E & Huang F-Y. 2013. HAMR Thermal Modeling Including Media Hot Spot. *IEEE Trans. Magn.* 49: 2565
- Kilic U, Finocchio G, Hauet T, Florey S H, Aktas G, & Oyataz O. 2012. Magnetic switching driven by nanosecond scale heat and magnetic field pulses: An application of macrospin Landau-Lifshitz-Bloch model. *Appl Phys. Letters* 101: 252407
- Li D, Staffaroni M, Schreck E & Stipe B. 2013. Stochastic effect on thermally magnetization reversal in Pico second ordering process. *IEEE Trans.Magn.* 49
- Mansuripur M & Connel G. 1984. Energetics of domain formation in thermomagnetic recording. *J. Appl. Phys* 55: 3049
- Ozatay O, Hauet T, Florez S H, Katine J A, Moser A, Thiele J-U, Folks L & Terris BD. 2009. Probing Activation Energy Barrier For Reversal of Strongly Exchange-Coupled Magnetic Multilayer Thin Films. *Appl Phys. Letters* 95: 172502
- Victora R H & Huang P-W. 2013 *IEEE Trans.Magn.* 49751