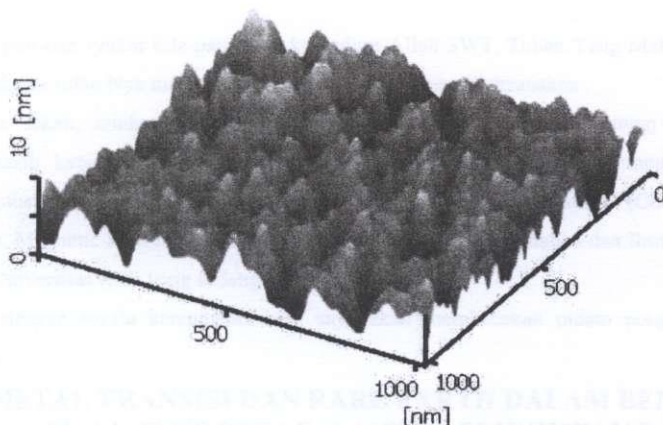




METAL TRANSISI DAN RARE EARTH DALAM BENTUK LAPISAN TIPIS SEBAGAI MEDIA PENYIMPAN DATA MAGNETIK BERKAPASITAS TINGGI



Oleh:

Prof. Dr. H. Erwin, M.Sc

Pidato Pengukuhan

Sebagai Guru Besar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

Pekanbaru

28 Maret 2013



Repository University Of Riau

PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU

<http://repository.unri.ac.id/>

Assalamualaikum Wr Wb

Yang terhormat :

Bapak Rektor, Ketua Senat dan Anggota Senat Universitas Riau

Bapak dan Ibu Pimpinan Universitas dan Fakultas di Lingkungan Universitas Riau

Para Anggota Dewan Penyantun Universitas Riau

Bapak/Ibu/Sdr Pejabat Struktural, Karyawan dan Civitas Akademika FMIPA UR

Rekan-rekan Sejawat dan Para Alumni Fisika FMIPA Universitas Riau

Saudara saudara mahasiswa Jurusan Fisika

Bapak – Bapak dan Ibu ibu, tokoh Masyarakat

Saudara – Saudara para undangan yang hadir pada kesempatan yang berbahagia ini.

Segala puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas izin dan ridho Nya maka acara pengukuhan ini dapat dilaksanakan .

Pertama sekali, izinkanlah saya mengucapkan penghargaan yang setinggi tinginya dan terimakasih kepada para hadirin semuanya yang bisa datang untuk menghadiri acara pengukuhan saya sebagai Guru Besar tetap dalam bidang Fisika Material (Condensed Matter Physics, Magnetic Material and Magnetism) pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau yang sedang diselenggarakan.

Untuk dengan segala kerendahan hati, saya akan membacakan pidato pengukuhan yang berjudul :

METAL TRANSISI DAN RARE EARTH DALAM BENTUK LAPISAN TIPIS SEBAGAI MEDIA PENYIMPAN DATA MAGNETIK BERKAPASITAS TINGGI

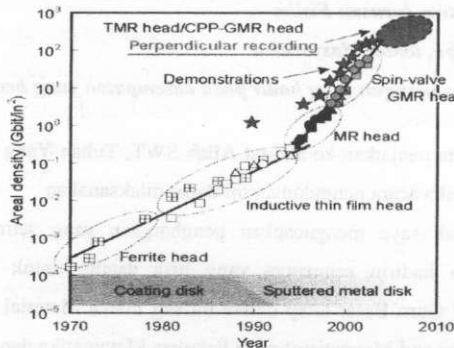
Bapak Rektor/Ketua Senat Universitas Riau dan Anggota Senat serta hadirin yang saya hormati.

Magnet merupakan salah satu material penting dalam kehidupan modern pada saat ini, sebagai contoh penggunaannya adalah mulai dari refrigerator sampai teleskop ruang angkasa (Hubble Space Telescope). Magnet mempengaruhi hampir semua aspek kehidupan kita, mulai dari alat elektronik, motor listrik, televisi, komputer, mobil mewah, loud speaker, telepon cellular, oven microwave, sensor, magnetic resonance imaging, elevator, roller coaster, kereta bawah tanah, maglev, magsus, dan masih banyak lagi penggunaan lainnya. Karena penggunaannya yang begitu luas maka sulit untuk membuat daftar aplikasi secara definitive



aplikasi dari magnet. Bagaimanapun magnet dalam bentuk lapisan tipis (thin films) digunakan untuk penyimpanan data magnetik berkapasitas tinggi pada komputer.

Kapasitas media penyimpanan data secara magnetik pada saat ini terus mengalami peningkatan. Peningkatan ini tentu saja disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan pengguna komputer untuk penyimpanan data. Penyimpanan data secara magnetik telah dimulai pada tahun 1950. Kapasitas dari media tersebut pada saat itu hanya dalam orde ribuan bit/inc². Kapasitas ini terus mengalami peningkatan seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 1. Perkembangan kemampuan media penyimpan data magnetik (Fujitsu Sci. Tech. J., 42(2006), 122).

Perkembangan media ini tidak mengalami banyak perubahan sampai pada tahun 1994. Namun pada tahun 1995 kecepatan penambahan kapasitas media penyimpan data secara magnetik ini mengalami peningkatan yang luar biasa. Peningkatan ini disebabkan oleh penggunaan magneto resistance (MR) head dan lapisan tipis (thin film) sebagai media penyimpan data yang dulunya menggunakan pita (tape). Peningkatan ini terus dilakukan dengan menggunakan lapisan tipis dimana bit disusun secara perpendicular maupun horizontal sedangkan untuk pembacaan dan penulisan data digunakan giant magneto resistance (GMR). Pada hari ini kemampuan media ini telah mencapai limitnya yaitu 100 GB/in². Apabila kemampuan media ini ditingkatkan lagi ke kapasitas yang lebih besar maka diperlukan material dengan ukuran butiran magnetik lebih kecil dari 10 nm (baca nano meter, 1 nm = 10⁻⁹m) dan memiliki sifat kemagnetan yang prima yaitu memiliki magnetocrystalline anisotropy energy yang tinggi ($K_u = 1.1 \times 10^8 \text{ erg/cm}^3$)^[1]. Nilai magnetocrystalline anisotropy yang tinggi ini diperlukan untuk menghindari fluktuasi thermal yang cenderung untuk mendestabilisasi magnetisasi dari bit yang terekam.^[2] Bahan yang sesuai untuk memenuhi

bat dan samarium (CoSm Alloy) dalam

bentuk lapisan tipis (thin film). Campuran cobalt dengan samarium mendapat perhatian khusus bagi peneliti - peneliti karena disamping memiliki aplikasi sebagai media penyimpan data berkapasitas tinggi^[3] juga sebagai magnet permanen.^[4]

Usaha awal untuk membuat campuran cobalt dan samarium dalam bentuk lapisan tipis yang menampilkan nilai sifat magnetic yang prima khususnya coercivitas tinggi telah dilakukan oleh Theuerer *et al.*^[5] Gronou *et al.*^[6] melaporkan bahwa CoSm films dengan coercivitas tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan metode flash evaporation. Beberapa eksperimen tentang recording pada media magnetik telah dilakukan oleh Velu dan Lambeth^[7] dan Velu *et al.*^[8] Bagaimanapun, karakteristik dari pembuatan campuran cobalt dan samarium seperti konsentrasi,^[9] hubungan epitaxial antara lapisan tipis campuran CoSm terhadap laisan bawah atau underlayer materials,^[10,11] efek interaksi antara butiran magnetic dalam lapisan tipis magnetic^[12,13] magnetic switching volume^[14], dapat dilakukan dengan menggunakan dan mengoptimisasikan kondisi deposisi yang sesuai.

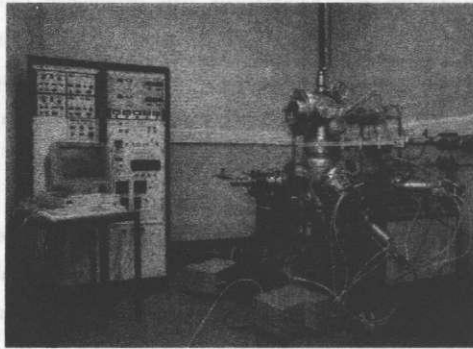
Dalam pembuatan thin films, maka ada beberapa metode atau teknik yang dapat digunakan antara lain metode sputtering, evaposasi, plasma spraying, molecular beam epitaxy (MBE), chemical vapor deposition (CVD) dan metal oxide chemical vapor deposition (MOCVD). Namun lapisan tipis dengan geometri dan kekasaran permukaan yang dapat dikontrol dapat dibuat dengan menggunakan metode sputtering.^[15] Biasanya, mendeposisi lapisan tipis cobalt samarium dengan menggunakan teknik sputtering dibawah suhu 600°C menghasilkan campuran dengan struktur amorphous.^[16] Strukur amorpous dari campuran ini dapat mengurangi atau membatasi sifat extrinsic dari lapisan tipis seperti anisotropi dan coercivitas dari thin film. Nilai coercivitas yang tinggi dapat diperoleh dengan memperkenalkan crystalline state dalam campuran CoSm melalui variasi suhu substrat (elevated temperature) atau melakukan annealing terhadap sampel yang dideposisi pada suhu ruang.

Lapisan tipis dari bahan ferromagnetic khususnya cobalt dan samarium juga dapat dibuat dalam bentuk multi lapisan tipis (multilayer films), yang terdiri dari lapisan tipis bahan ferromagnetic (cobalt) dan bahan non magnetic (samarium), campuran antara kedua lapisan ini (interfacial mixing) dapat menghasilkan sifat magnetic novelty^[17,18]. Petford-Long *et al.*^[19] melaporkan bahwa interfacial mixing muncul pada struktur multilapisan tipis antara cobalt dan wolfram (Co/W). Interfacial mixing ini mempengaruhi sifat magnetic dari multilapisan tipis tersebut.



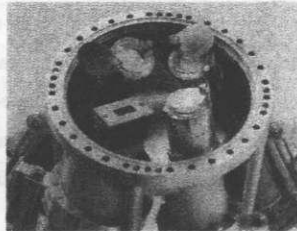
Pembuatan Lapisan Tipis Magnetik

Lapisan tipis magnetik dapat dibuat dengan beberapa teknik seperti teknik molecular beam epitaxy (MBE), metal oxide chemical vapor deposition (MOCVD), evaporation, laser ablation dan sputtering. Masing masing teknik ini memiliki keunggulan dan kelemahan namun teknik sputtering lebih banyak digunakan untuk pembuatan lapisan tipis karena dengan teknik ini ketebalan, distribusi dan komposisi dari lapisan tipis dapat dikontrol dengan ketelitian yang tinggi. Namun kelemahannya hanya 26-45%.^[20,21] dari sampel yang dapat digunakan dan sisinya harus direduksi kembali untuk mendapatkan sample baru.



Gambar 2. DC magnetron sputtering dan sistem pengontrolnya

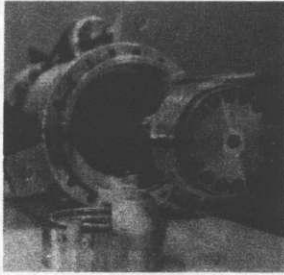
Dalam system sputtering ini ada 5 magnetron yang disusun dalam 2 clusters. Cluster pertama terdiri dari 3 magnetron, dengan konfigurasi ini memungkinkan para peneliti untuk dapat membuat lapisan tipis dalam bentuk binary dan ternary alloys dari 3 atau lebih elemen secara bersamaan. Sebagai contoh pembuatan lapisan magnetic CoCrPtNb. Foto dari cluster ini ditampilkan dalam gambar dibawah ini. Dua magnetron lainnya berada pada sisi lain dari sputtering. Di tengah-tengah ruang sputtering terdapat sebuah carousel dengan 6 sample holders yang dapat diputar diantara 5 magnetron selama proses sputtering.



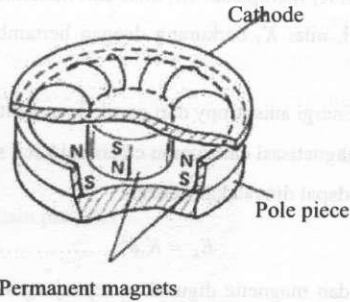
magnetron



Magnetron ini terdiri dari beberapa buah magnet permanen. Untuk menjaga agar suhu cathode tetap rendah maka digunakan system pendinginan yang disebut dengan *water-cooled cathode surface*. Magnet-magnet ini disusun (lihat gambar 4) dibelakang material target dimana kutub selatan magnet diletakkan ditengah-tengah dan kutub-kutub utara terletak ditepi plat magnetron.



Gambar 4. Magnetron dengan susunan magnet permanennya



Gambar 5. Skema diagram dari magnetron menampilkan garis medan magnetik^[4-09]

Melalui susunan ini, magnet dapat menghasilkan medan magnetic yang homogen diatas permukaan catode (bahan yang akan dideposisi atau target). Arah dari medan magnetic ini selalu tegak lurus terhadap medan listrik yang bersal dari tegangan bias pada target. Penggabungan antara medan magnetic dan medan listrik seperti pada gambar 5 memungkinkan electron untuk bergerak dengan lintasan helix sepanjang garis medan magnetic diatas target.^[22, 23]

Sifat Magnetik Rare Earth – Transition Metal: Coercivitas Single Domain Particle

Energi magnetocrystalline anisotropy (E_k) dijelaskan dengan mengambil beberapa suku pertama dari infinite power series. Untuk crystal cubic, maka E_k ditulis sebagai berikut :

$$E_K = K_o + K_1(\alpha_1^2\alpha_2^2 + \alpha_2^2\alpha_3^2 + \alpha_3^2\alpha_1^2) + K_2(\alpha_1^2\alpha_2^2\alpha_3^2) + \dots, \dots \dots \dots (1)$$

dimana α_1 , α_2 , dan α_3 adalah arah cosinus dari magnetisasi terhadap sumbu kubus dan K_o , K_1 dan K_2 adalah konstanta anisotropy. Untuk crystal uniaxial seperti Co and Co₅Sm, E_k bergantung pada sudut ϕ antara magnetisasi dan easy axis dan dapat ditulis sebagai

$$E_k = K_o + K_1 \sin^2 \phi + K_2 \sin^4 \phi + \dots \dots \dots (2)$$



Dalam material bulk, suku ketiga dan seterusnya bernilai kecil dan biasanya diabaikan. Karena K_0 tidak bergantung pada arah magnetisasi maka parameter itu dapat dihilangkan. Oleh karena itu, E_k dapat ditulis sebagai

$$E_k = K_1 \sin^2 \phi \dots\dots\dots(3)$$

Nilai dari K_1 merupakan ciri khas dari material dan dapat ditentukan secara experiment. Lebih jauh lagi, nilai K_1 berkurang dengan bertambahnya suhu and akan menjadi nol pada suhu Curie.

Energi anisotropy dari partikel yang ditulis dalam persamaan (3) untuk mana sudut antara magnetisasi dan sumbu c bernilai kecil sekali ($\phi \ll \pi$) maka energi anisotropy dari partikel dapat dinyatakan sebagai

$$E_k = K_1 \phi^2 \dots\dots\dots(4)$$

Jika medan magnetic digunakan sepanjang sumbu-c, maka energy magnetostatic diberikan oleh

$$E_M = -\mu_0 MH \cos \phi \dots\dots\dots(5)$$

Energy total, E_T dari partikel adalah

$$E_T = K_1 \sin^2 \phi - \mu_0 MH \cos \phi \dots\dots\dots(6)$$

Kondisi untuk equilibrium diberikan oleh

$$\frac{dE_T}{d\phi} = (2K_1 \cos \phi + \mu_0 MH) \sin \phi = 0 \dots\dots\dots(7)$$

Kondisi untuk stability adalah

$$\frac{d^2 E_T}{d\phi^2} = 2K_1 \cos 2\phi + \mu_0 MH \cos \phi > 0 \dots\dots\dots(8)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (7) untuk $\cos \phi$, dan dengan mensubstitusikannya ke persamaan (8) maka

$$\frac{d^2 E_T}{d\phi^2} = -2K_1 \sin^2 \phi \dots\dots\dots(9)$$

Yang nilainya selalu < 0 kecuali untuk $\phi = 0, \pi$. Untuk kondisi minimum, maka

$$\frac{d^2 E}{d\phi^2} = \pm \mu_0 MH + 2K_1 > 0 \dots\dots\dots(10)$$



dimana $\phi = 0$ berhubungan dengan tanda positif (+) dan $\phi = \pi$ berhubungan dengan tanda negative (-). Olehkarena itu, $\phi = 0$ adalah merupakan solusi stabil untuk

$$\frac{2K_1}{\mu_n M} < H \text{ atau } H > \frac{2K_1}{\mu_n M} \dots\dots\dots(11)$$

dan $\phi = \pi$ merupakan solusi stabil untuk

$$H < \frac{2K_1}{\mu_n M} \dots\dots\dots(12)$$

Olehkarena itu, nilai dari

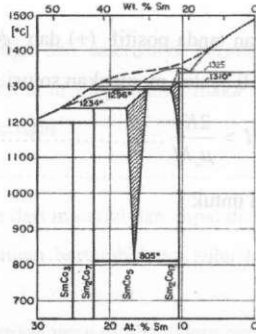
$$H = \frac{2K_1}{\mu_n M} \dots\dots\dots(13)$$

didefinisikan sebagai coercivitas dari single domain particle.

Campuran cobalt samarium (CoSm-Alloy)

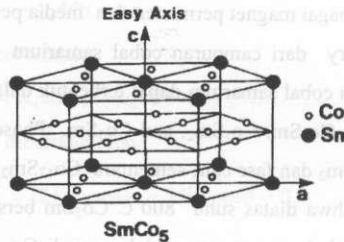
Campuran cobalt dengan samarium mendapat perhatian khusus bagi peneliti karena memiliki aplikasi penting sebagai magnet permanen dan media penyimpanan data berkapasitas tinggi^[4]. Diagram fase binary dari campuran cobalt samarium seperti ditunjukkan pada Gambar 6 menjelaskan bahwa cobalt samarium dapat terbentuk dalam beberapa fase senyawa diantaranya adalah $\text{Co}_{17}\text{Sm}_2$, Co_5Sm , Co_7Sm_2 , and Co_3Sm . Fase Co_5Sm dibentuk melalui reaksi peritectic antara $\text{Co}_{17}\text{Sm}_2$ dan fase cair, sementara $\text{Co}_{17}\text{Sm}_2$ terbentuk dari fase cairan. Dari gambar dapat dilihat bahwa diatas suhu 800°C Co_5Sm bersifat stable. Dibawah suhu 800°C maka senyawa ini berubah secara eutectoidal menjadi $\text{Co}_{17}\text{Sm}_2$ and Co_7Sm_2 .^[24] Pada suhu ruang maka fase Co_5Sm berada dalam keadaan metastable.

Diantara senyawa-senyawa ini, Co_5Sm memiliki nilai coercivitas yang tinggi yang merupakan salah satu syarat penting yang diperlukan sebagai magnet permanen dan media penyimpanan data berkapasitas tinggi karena memiliki energy magnetocrystalline anisotropy yang tinggi.^[25] Penulis lain^[26] menyatakan bahwa tingginya nilai coercivitas dari senyawa ini disebabkan oleh mekanisme pengontrolan nukleasi dan energy domain wall yang besar.



Gambar 6. Bagian diagram fase campuran cobalt – samarium, menampilkan beberapa fase penting, dari referensi [27].

Sistem kristal campuran Co_5Sm terbentuk dalam struktur hexagonal close packed (h.c.p), seperti ditunjukkan pada Gambar 7, dengan perbandingan parameter kisi adalah c/a adalah 0.7936^[28], dimana $a = 0.5004 \text{ nm}$ dan $c = 0.397 \text{ nm}$.



Gambar 7. Struktur kristal dari Co_5Sm dari referensi [28].

Apabila cobalt dicampur dengan samarium, disamping membentuk campuran cobalt samarium maka dihasilkan fase non magnetic seperti samarium-oxide (Sm_2O_3). Fase inilah yang menyebabkan sifat reaktif dari samarium.^[29] Menurut Martin *et al.*^[30] dalam kasus magnet yang dibuat secara sinter dan dengan mengatur fase oxide maka nilai coercivitas tertinggi dapat diamati ketika komposisi campuran CoSm mendekati batas komposisi Co_5Sm dan Co_7Sm_2 .

Menurut Fidler^[31] bahwa senyawa butiran Co_5Sm memiliki cacat kerapatan yang rendah. Sifat magnetic campuran Co_5Sm bergantung pada kondisi pembuatannya. Sebagai contoh, dalam kasus campuran yang dibuat melalui proses sinter, maka sifat magnetiknya yang baik diperoleh pada suhu sekitar 950°C , sementara pada suhu 750°C , nilai coercivitasnya



menurun.^[26, 32] Sebagaimana ditunjukkan diatas bahwa coercivitas dari magnet Co₂Sm yang dibuat secara sinter maka coercivitasnya diatur oleh medan nukleasi dari domain yang membalik . Nukleasi dari domain yang membalik terjadi dalam daerah dengan magnetocrystalline anisotropy yang rendah.

Media Penyimpan Data Magnetic

Dalam media perekam magnetic terdapat dua mode utama dalam penyimpanan informasi seperti mode perekam longitudinal dan tegak lurus (perpendicular). Gambar 8 menampilkan perbandingan antara kedua mode perekam tersebut. Dalam media perekam longitudinal, yang merupakan teknik penyimpanan data saat ini, dimana arah magnetisasi terletak dibidang dari lapisan tipis, kerapatan penyimpanan data (jumlah bit yang tersimpan persatuan luas) dibatasi oleh ukuran dari sebuah bit. Keterbatasan ini disebabkan oleh distribusi magnetisasi yang melebar dikarenakan oleh efek demagnetisasi,^[33] dan menyebabkan pelebaran dari daerah transisi (δ) diantara tiap tiap bit, ini dapat dilihat pada Gambar 8 (a). Lebar daerah transisi longitudinal dapat ditulis sebagai^[34]

$$\delta = \frac{M_r t}{H_c}, \dots \dots \dots (14)$$

dimana t adalah ketebalan dari lapisan tipis bahan magnetic, M_r adalah magnetisasi remanence, dan H_c adalah coercivitas dari media penyimpan data magnetic. Dalam system perekaman ini, maka kerapatan perekaman maksimum dapat diperoleh dengan mengurangi ketebalan (t) dari lapisan tipis bahan magnetic tersebut. Bagaimanapun, mengurangi nilai magnetisasi remanence (M_r) akan mengurangi keberadaan flux pada replay head. Olehkarena itu, ketebalan lapisan tipis (t) dan coercivitas media (H_c) memegang peranan penting dalam menentukan kerapatan maximum media perekam. Menurut Bertram^[35] bahwa lebar daerah transisi dapat ditulis sebagai

$$\delta = \frac{d(1-S^*)}{\pi Q} + \sqrt{\left(\frac{d(1-S^*)}{\pi Q}\right)^2 + \frac{M_r t d}{\pi Q H_c}}, \dots \dots \dots (15)$$

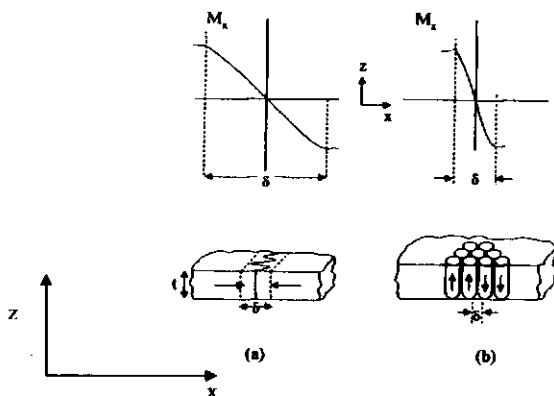
dimana d adalah jarak antara media perekam data dengan head, Q sebuah parameter yang berhubungan dengan medan head dan S^* adalah kesegiempatan dari loop hysteresis.

Media penyimpan data magnetic secara perpendicular pertama sekali diusulkan oleh Iwasaki *et al.*^[36] sebagai metode penyimpanan data yang lain. Dalam system ini, arah magnetisasi adalah tegak lurus pada bidang lapisan tipis sebagaimana diilustrasikan pada

ikrostruktur berbentuk kolom menjadi



kecil sehingga dapat menyimpan lebih banyak bit atau memiliki kerapatan bit yang tinggi. Namun, ada satu persoalan yang masih belum terselesaikan dalam mode ini yaitu masalah noise dan head-induced erasure,^[37] yang telah menunda kemajuan penggunaan media penyimpanan data dengan mode tegak lurus ini. Bagaimanapun, telah banyak usaha yang dilakukan oleh peneliti untuk dapat memunculkan teknologi ini sehingga dapat dipasarkan dalam waktu dekat.^[38]



Gambar 8. Diagram skema dari mode penyimpanan data magnetic untuk (a) longitudinal dan (b) perpendicular. dari referensi.^[39]

Pada saat ini, kemampuan dari media penyimpanan data secara magnetic hanya memiliki kerapatan penyimpanan data antara 20-40 Gb/in². Media penyimpanan data magnetik dengan kerapatan 100 Gbit/in² telah didemonstrasikan.^[40] Sistem penyimpanan data secara magnetic yang mampu menyimpan data dalam Tbit/in² kemungkinan dapat diwujudkan.^[41] Dalam sistem semacam ini mikrostruktur dari media (ukuran butiran magnetik) memerlukan ukuran butiran yang kecil yaitu 5-8 nm.

Seperti diketahui bahwa ukuran butiran magnetik yang lebih kecil menimbulkan efek termal. Untuk mengatasi persoalan ini maka perlu bagi media penyimpanan data magnetic dengan kapasitas 100 Gbit/in² untuk memiliki rasio stabilitas minimum dalam penyimpanan energi magnetic dengan energi termal sebagai berikut

$$\frac{K_u V}{k_B T} \cong 50 - 70, \dots \dots \dots (16)$$

dimana K_u dan V adalah energi anisotropy dan volume switching magnetic, k_B adalah konstanta Boltzmann dan T adalah suhu. Jelas dari persamaan (16) bahwa untuk V yang

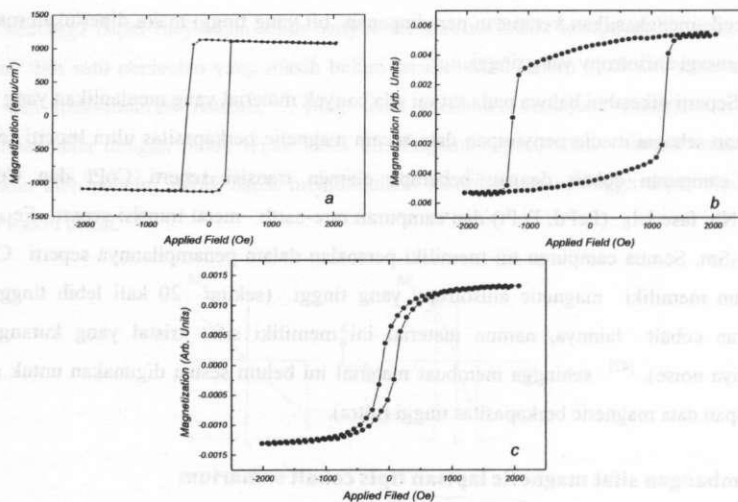
lebih kecil menghasilkan kerapatan penyimpanan bit yang tinggi maka diperlukan material dengan energi anisotropy yang tinggi.

Seperti diketahui bahwa pada saat ini ada banyak material yang menjanjikan yang dapat digunakan sebagai media penyimpanan data secara magnetic berkapasitas ultra seperti sebagai contoh campuran cobalt dengan beberapa elemen transisi seperti CoPt dan CoPtCr, CoPtCrNb, fase $L1_0$ (FePd, FePt) dan campuran rare-earth-metal transisi seperti $Fe_{14}Nd_2B$ dan Co_5Sm . Semua campuran ini memiliki persoalan dalam penampilannya seperti Co_5Sm walaupun memiliki magnetic anisotropy yang tinggi (sekitar 20 kali lebih tinggi dari campuran cobalt lainnya, namun material ini memiliki sifat kristal yang kurang baik (tingginya noise),^[42] sehingga membuat material ini belum sesuai digunakan untuk media penyimpanan data magnetic berkapasitas tinggi (ultra).

Pengembangan sifat magnetic lapisan tipis cobalt samarium

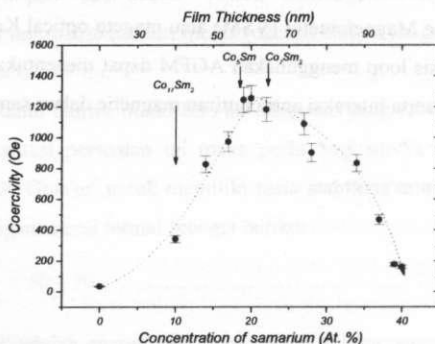
Semenjak ditemukannya campuran cobalt samarium dalam bentuk lapisan tipis yang memiliki coercivity tinggi^[43] banyak penelitian diarahkan pada material ini dalam rangka memperbaiki sifat magnetiknya seperti melakukan doping terhadap material tersebut dengan Cu^[44]. Cara lain untuk mendapatkan sifat magnetic yang baik dari campuran ini adalah dengan mengontrol mikrostrukturnya yaitu dengan cara memperkenalkan lapisan bawah (underlayer materials),^[45] dan dengan memberikan perlakuan panas (annealing) melalui elevasi suhu substrat atau melakukan post annealing dari lapisan tipis. Gambar 9 berikut ini menampilkan hysteresis loop dari lapisan tipis $Co_{100-x}Sm_x$ dimana $x = 10, 20$ dan 40 dibuat dengan menggunakan metode sputtering pada tekanan 10^{-8} mbar. Hysteresis loop ini dapat diperoleh dengan menggunakan peralatan seperti alternating gradient force magnetometry (AGFM), Vibration sample Magnetometer (VSM) atau magnetooptical Kerr Effect (MOKE). Hasil pengukuran hysteresis loop menggunakan AGFM dapat menentukan sifat intrinsik dan ekstrinsik dari lapisan tipis serta interaksi antar butiran magnetic dalam sampel.





Gambar 9. Hysteresis loop untuk lapisan tipis $\text{Co}_{100-x}\text{Sm}_x$ dengan variasi konsentrasi samarium (a) $x=10$, (b) $x=20$ dan (c) $x=40$.

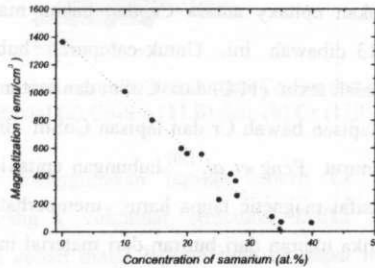
Gambar 10 menampilkan efek penting dari konsentrasi samarium pada thin film dari $\text{Co}_{100-x}\text{Sm}_x$ untuk x mulai dari 0 sampai 40 at. %. Ketika konsentrasi samarium diperbesar maka coercivity bertambah dan mencapai nilai maksimum pada konsentrasi sekitar 19 - 22 at. % Sm, kemudian nilai coercivity menurun dengan penambahan konsentrasi samarium. Nilai coercivity maximum pada konsentrasi 19 - 22 at. % Sm terletak dalam fase kristal antara Co_5Sm dan Co_7Sm_2 .



Gambar 10. Coercivity dari lapisan tipis $\text{Co}_{100-x}\text{Sm}_x$ sebagai fungsi

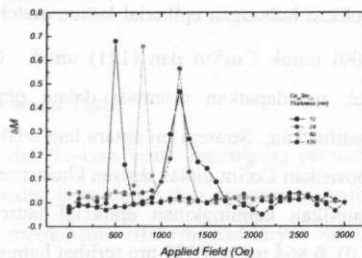


Nilai saturasi magnetisasi dari lapisan tipis $\text{Co}_{100-x}\text{Sm}_x$ sebagai fungsi konsentrasi mengalami penurunan ketika konsentrasi samarium bertambah. Pengurangan ini disebabkan oleh bertambahnya material non magnetic dalam butiran magnetic dalam sampel. Untuk $x = 0$, maka nilai magnetisasi dari campuran ini merupakan magnetisasi dari cobalt yaitu sekitar 1380 emu/cm^3 . Sementara apabila konsentrasi samarium melebihi 40% maka magnetisasi dari campuran tersebut adalah kecil dan mendekati nol.



Gambar 11. Saturasi magnetisasi, M_s , dari lapisan tipis $\text{Co}_{100-x}\text{Sm}_x$ sebagai fungsi konsentrasi samarium (at.%).

Gambar 12 menunjukkan grafik intensitas interaksi antar butiran dalam lapisan tipis CoSm (δM) untuk empat sample dengan ketebalan yang berbeda. Intensitas interaksi ini secara qualitative di estimasi dengan metode pendekatan.^[5-26] ketebalan dari lapisan tipis mempengaruhi intensitas dari interaksi. Sebagaimana dilihat bahwa kecenderungan yang terjadi ketika lapisan tipis ditambah ketebalannya mengakibatkan nilai δM positif (intergranular exchange interaction) akan bertambah. Ini berarti bahwa intergranular exchange coupling jauh lebih besar dari interaksi magnetostatic dari butiran dalam sampel. Secara fisika artinya adalah bahwa dengan penambahan ketebalan sampel maka ukuran butiran menjadi lebih besar dan keterpisahan antara butiran magnetic semakin kecil akibatnya interaksi antar butiran semakin besar.



Gambar 12. δM dari lapisan tipis $\text{Co}_{80}\text{Sm}_{20}$ untuk ketebalan yang berbeda.



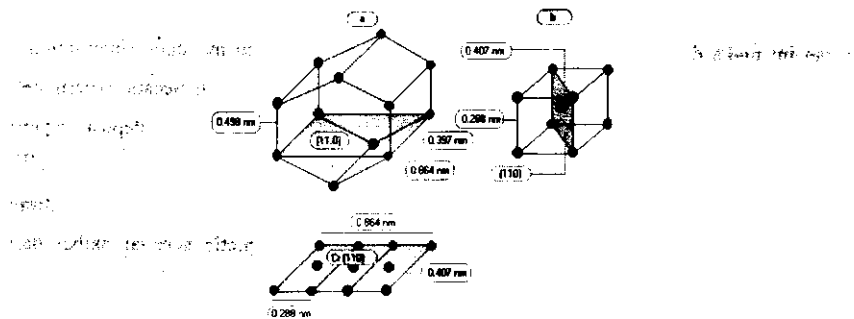
Pengaruh Material Lapisan Bawah (Underlayer Material)

Salah satu cara yang paling sukses dalam meningkatkan coercivity dari campuran yang bahan dasarnya cobalt adalah penggunaan material underlayer yang sesuai yang letaknya antara substrate dan lapisan tipis magnetic.^[46] banyak material lapisan bawah yang telah digunakan untuk peningkatan sifat magnetic ini.^[47] Bagaimanapun, material lapisan bawah yang paling sukses adalah Cr. Suksesnya penggunaan Cr sebagai lapisan bawah karena dekatnya hubungan kecocokan epitaxy antara Cr dan bahan magnetic diatasnya seperti ditunjukkan pada Gambar 13 dibawah ini. Untuk campuran hubungan pseudo epitaxial dengan lapisan bawah Cr adalah $(11\bar{0})$ dari Co_5Sm dan tekstur (110) dari lapisan Cr.^[48] Hubungan epitaxial antara lapisan bawah Cr dan lapisan Co_5Sm dipelajari dalam penelitian sebelumnya.^[49] Namun, menurut Peng *et al.*^[50] hubungan epitaxial antara tekstur ini tidak cukup untuk memperbaiki sifat magnetic tanpa harus memperhatikan ukuran butiran dari material lapisan bawah Cr. Jika ukuran dari butiran dari material ini terlalu besar maka nilai coercivity dari lapisan magnetic menjadi berkurang.

Hubungan epitaxial antara kristal Co_5Sm dan struktur kristal dari Cr telah dipelajari oleh beberapa group dari peneliti seperti Liu *et al.*^[51] telah mempelajari hubungan epitaxial ini dengan menggunakan high resolution transmission electron microscopy (HRTEM) dan memperoleh konstanta kisi untuk Cr sebagai $a = 0.289 \text{ nm}$ dan untuk kristal Co_5Sm dengan $a = 0.253 \text{ nm}$ dan $c = 0.413 \text{ nm}$. Nilai-nilai ini berbeda dengan yang ditampilkan dalam International Centre for Diffraction Data (ICDD) untuk Co_5Sm , yang adalah 0.499 nm untuk a dan 0.397 nm untuk c . Velu *et al.*^[52] melaporkan bahwa campuran Co_5Sm dalam bentuk lapisan tipis yang dideposisi diatas Cr memiliki coercivity tinggi yaitu sebesar lebih dari 2400 Oe . Tingginya nilai coercivity ini disebabkan oleh tingginya nilai magnetocrystalline anisotropy dari Co_5Sm dan sesuainya parameter kisi (in-plane matching) antara bidang Co_5Sm $(11\bar{0})$ dan bidang Cr (110) seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Lebih jauh lagi, Sellmyer *et al.*^[53] menunjukkan hubungan epitaxial lattice matching lainnya antara Co_5Sm dan Cr yang adalah $(\bar{1}100)$ untuk Co_5Sm dan (121) untuk Cr. Peneliti lain^[54] telah menunjukkan bahwa untuk mendapatkan orientasi dalam pembuatan lapisan tipis Cr, beberapa strategi telah dimanfaatkan. Strategi ini antara lain adalah mendeposisikan Cr pada substrate gelas dan mendeposisikan Co_5Sm diatas lapisan khusus seperti Ni-Al.

Gambar 13 menampilkan kemungkinan epitaxial lattice matching (near-epitaxy) antara bidang Co_5Sm $(11\bar{0})$, $0.864 \text{ nm} \times 0.397 \text{ nm}$ terlihat hampir cocok dengan bidang Cr (110) , $0.864 \text{ nm} \times 0.407 \text{ nm}$.





Gambar 13. Diagram skema dari susunan atom antara Co_5Sm dan Cr menampilkan hubungan epitaxial (a) Co_5Sm (11.0) dan (b) Cr (110).

Keuntungan lain menggunakan lapisan bawah Cr adalah bahwa Cr dapat menghasilkan struktur tiang (columnar structure) ketika ketebalannya ditambah.^[55] Mendeposisikan campuran cobalt diatas lapisan tipis Cr dapat menghasilkan replikasi dari struktur columnar yang dapat memisahkan butiran magnetic pada kolom pembatas. Tanpa menggunakan Cr sebagai lapisan bawah maka akan menghasilkan interaksi magnetic yang tinggi (high exchange coupling) antara butiran magnetic dan mengakibatkan menurunnya coercivitas dari media penyimpanan data yang diperoleh.^[56] Okumura *et al.*^[47] telah mempelajari sifat magnetic dari lapisan tipis $\text{Co}_{85}\text{Sm}_{15}$ yang dideposisikan diatas lapisan bawah seperti Ti, V, Cu and Cr. Dari hasil penelitian mereka diperoleh bahwa lapisan tipis $\text{Co}_{85}\text{Sm}_{15}$ yang dideposisikan diatas lapisan tipis Cr memiliki nilai coercivitas yang tinggi sekitar 3600 Oe. Peneliti lain^[57] menggunakan bahan lapisan bawah seperti Cr, W, W/Cr dan Al dimana lapisan tipis CoSm dideposisikan diatas molybdenum dapat menghasilkan coercivitas maximum yaitu sekitar 4000 Oe. Namun menurut Velu *et al.*^[56], bahwa mendeposisikan campuran CoSm diatas lapisan bawah Cr menghasilkan noise yang kecil yang disebabkan oleh adanya pengurangan interaksi (exchange interaction) antara butiran magnetic (magnetically de-coupling).

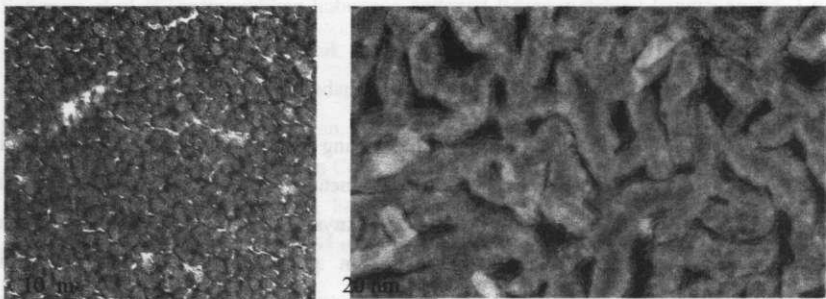
Sifat Mikrostruktur dari Lapisan Tipis.

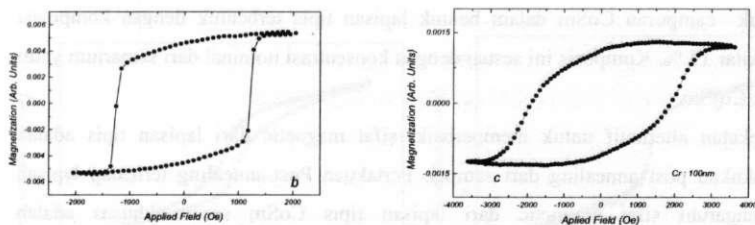
Sifat mikrostruktur dari lapisan tipis memegang peranan penting dalam teknologi lapisan tipis khususnya media penyimpanan data magnetic karena sifat ini menampilkan informasi penting dalam memahami sifat magnetiknya. Sebagai contoh ada beberapa pendekatan untuk mengontrol mikrostruktur dalam pembuatan lapisan tipis seperti nanoisolasi dari butiran magnetic terhadap butiran yang berdekatan. Melalui pengisolasi

butiran ini maka dapat diturunkan intensitas interaksi antar butiran magnetic (intergranular exchange coupling) sehingga dihasilkan media dengan coercitas tinggi. Secara experiment, tuntutan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti mengatur kondisi deposisi seperti pengaturan tekanan ruang sputtering,^[58,46] atau melakukan elevasi terhadap suhu substrat.^[59] Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan nilai intensitas interaksi antara butiran magnetic disebabkan oleh pemisahan fisika dari butiran magnetic sebagai akibat dari morfologi pembuatan lapisan tipis.

Pendekatan alternative untuk mengurangi intensitas interaksi antara butiran magnetic dalam lapisan tipis adalah dengan penggunaan lapisan bawah (underlayer material).^[60] Sebagai contoh Velu *et al* ^[61] dimana ukuran dan bentuk dari butiran magnetic dapat dikontrol dengan mendeposikan campuran CoSm diatas substrat gelas. Untuk mengamati mikrostruktur dari lapisan tipis ini mereka menggunakan atomic force microscopy (AFM) dan menemukan bahwa mikrostruktur dari $\text{Co}_{80}\text{Sm}_{20}$ dengan ketebalan yang berbeda memberikan morfologi yang berbeda pula. Sample dengan ketebalan kecil dari 28 nm menghasilkan butiran butiran magnetic yang terpisah dengan baik oleh voids, sementara untuk sampel yang lebih tebal yaitu dengan ketebalan >42 nm maka butiran butiran magnetic membentuk kelompok (clustering of grains) dan mengakibatkan turunnya nilai intensitas interaksi antar butiran.^[56]

Gambar 14 berikut ini menampilkan pengaruh underlayer material terhadap mikrostruktur dan sifat magnetic dari lapisan tipis CoSm dibuat dengan metode sputtering pada tekanan 10^{-8} mbar. Dari Gambar ini, hasil HRTEM jelas terlihat bahwa ketika CoSm dideposisi langsung diatas substrat (a) dimana butirannya berbentuk bulat dengan coercivitas sekitar 1200 Oe, sementara Gambar 14 (b) menampilkan CoSm dideposisi diatas lapisan bawah dengan ketebalan 100 nm dengan butiran memanjang dan coercivitasnya sekitar 2000 Oe.





Gambar 14. Mikrostruktur dari $\text{Co}_{80}\text{Sm}_{20}$ (a) tanpa underlayer dan (b) dideposisi diatas underlayer Cr dengan ketebalan 100 nm serta loop hysteresisnya

Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Magnetik

Seperti diketahui bahwa formasi dari fase keras dari Co_5Sm dan sifat mikrostruktur yang baik diperlukan untuk memperbaiki sifat magnetic dari material ini. Sifat mikrostruktur ini termasuk ukuran dan bentuk butiran serta efek interaksi antar butiran. Disamping parameter diatas, mikrostruktur dari lapisan tipis dapat juga dikontrol melalui pengaturan suhu seperti melakukan annealing terhadap sampel dan melakukan pemanasan in-situ (elevated substrate temperature).

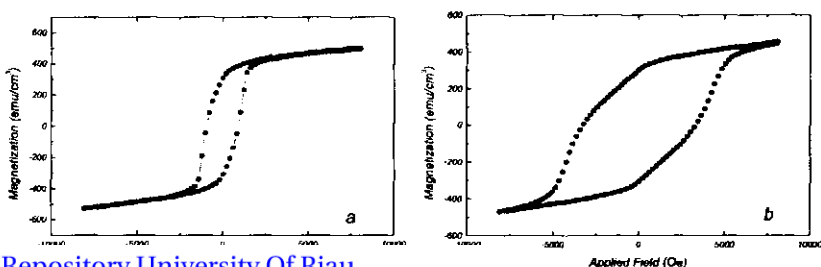
Mendeposisikan campuran Co dalam bentuk lapisan tipis melalui peningkatan suhu saat pembuatan sampel menyebabkan mobilitas atom yang tinggi. Mobilitas yang tinggi ini diperlukan untuk pemisahan dan presipitasi dari elemen Co dalam butiran. Selanjutnya, bahwa kombinasi dari suhu substrat dan tekanan rendah sputtering dapat digunakan untuk mengontrol diffuse yang diperlukan untuk pemisahan komposisi dari elemen yang terlibat. Menurut Yogi *et al.*^[55] penggunaan dari elevated substrate temperature selama proses pembuatan lapisan tipis dapat memisahkan butiran magnetic (decouple the magnetic grains), yang akhirnya dapat mengurangi intensitas interaksi antara butiran magnetic dalam lapisan tipis. Seperti telah ditunjukkan oleh Prados *et al.*^[62] bahwa coercivitas yang tinggi dari CoSm yang dideposisi diatas lapisan bawah Cr dapat diperoleh dengan memanipulasi suhu annealing yang pada akhirnya menghasilkan lapisan tipis dengan struktur nanocrystal.

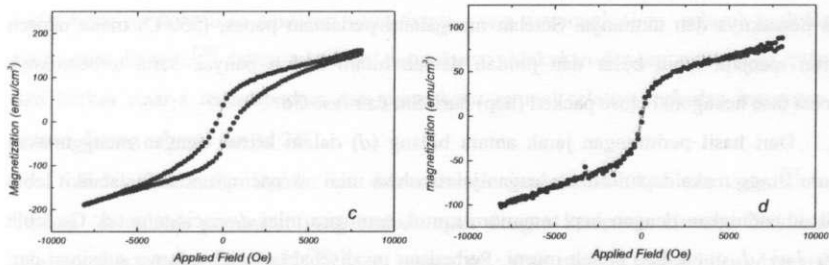
Theurer *et al.*^[43] menunjukkan bahwa sifat magnetic seperti coercivitas bergantung pada suhu saat lapisan tipis dipersiapkan. Dalam kasus lapisan tipis Co_5Sm , coercivitas sebesar 20kOe diperoleh dengan menggunakan suhu 600°C. Neu *et al.*^[63] melaporkan bahwa pembuatan lapisan tipis CoSm pada suhu 460°C dengan memvariasi konsentrasi samarium disekitar 15.9% , maka lapisan tipis menjadi kristal dalam komposisi Co_7Sm_2 , untuk sampel dengan konsentrasi samarium sekitar 17.6 % menjadi Kristal dengan komposisi Co_8Sm . Mereka juga menemukan bahwa transisi dari struktur bertipe 1:7 ke struktur dengan

tipe 1:5 untuk campuran CoSm dalam bentuk lapisan tipis terbentuk dengan komposisi samarium sekitar 17 %. Komposisi ini sesuai dengan konsentrasi nominal dari samarium yaitu 16.7 % untuk Co_5Sm .

Pendekatan alternatif untuk memperbaiki sifat magnetic dari lapisan tipis adalah dengan melakukan post annealing dari sampel. Perlakuan Post-annealing terhadap lapisan tipis mempengaruhi sifat magnetic dari lapisan tipis CoSm secara khusus adalah coercivitas.^[64,65,66] Sebagai contoh, Geiss *et al.*^[64] melaporkan bahwa melakukan annealing terhadap $\text{Co}_{84.3}\text{Sm}_{15.7}$ pada suhu 700°K selama 30 menit menghasilkan koercivitas yang cukup besar yaitu 3700 Oe. Pertambahan nilai coercivitas ini berhubungan dengan sifat kristalisasi dari sampel setelah mendapat perlakuan panas. Malhorta *et al.*^[65] telah melakukan penelitian tentang sifat magnetic dari campuran rare earth-cobalt (RCo , $\text{R}=\text{Sm}$ dan Pt) dalam bentuk lapisan tipis dan menemukan bahwa dengan memberikan perlakuan panas pada sampel pada suhu 500°C selama 20 menit, baik CoSm ataupun CoPt menunjukkan penambahan dalam coercivitas. Peneliti lain^[67] telah menunjukkan hasil yang sama untuk lapisan tipis dengan struktur 80 nm Cr/ 264 nm $\text{Co}_{81}\text{Sm}_{19}$ /100 nm Cr ketika diberikan perlakuan panas pada suhu 600°C.

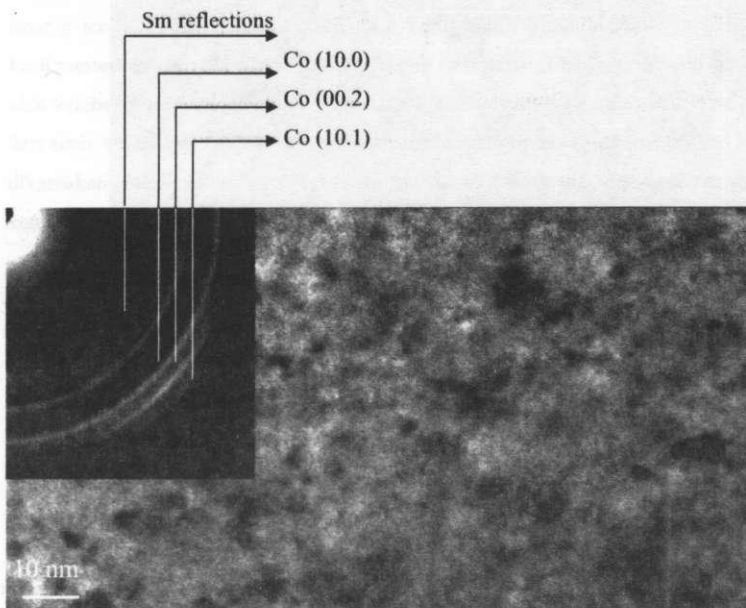
Gambar 15 menampilkan hysteresis loops dari multilapisan tipis Co//Sm dengan struktur 20[Co (4.2 nm)/Sm (3.8 nm)] dipanaskan selama 30 menit pada suhu 400° C, 450° C, 500° C dan 700° C. Semua hysteresis loop menampilkan sentakan kecil (small kink) pada kedua arah medan magnetic dan dekat dengan medan nol. Ni menunjukkan keberadaan dari fase soft kedua atau medan rendah (low field phenomena).^[68] Multilapisan tipis dipanaskan pada suhu 450° C menampilkan nilai coercivitas maximum (3500 Oe). Pemanasan sampel diatas 450° C menyebabkan hysteresis loop berubah secara drastis dan nilai coercivitas menjadi sangat kecil. Fenomena ini disebabkan oleh kemungkinan kontribusi superparamagnetic, dan formasi dari particulate system yang menghasilkan struktur parikel magnetic yang kecil seperti Co atau CoSm dikelilingi oleh Sm atau matrix SmO .





Gambar 15. Hysteresis loops diukur pada suhu ruang untuk multilapisan tipis dengan struktur 20[Co (4.2 nm)/Sm (3.8 nm)] yang dipanaskan pada suhu (a) 400°C, (b) 450°C, (c) 500°C, and (d) 700°C.

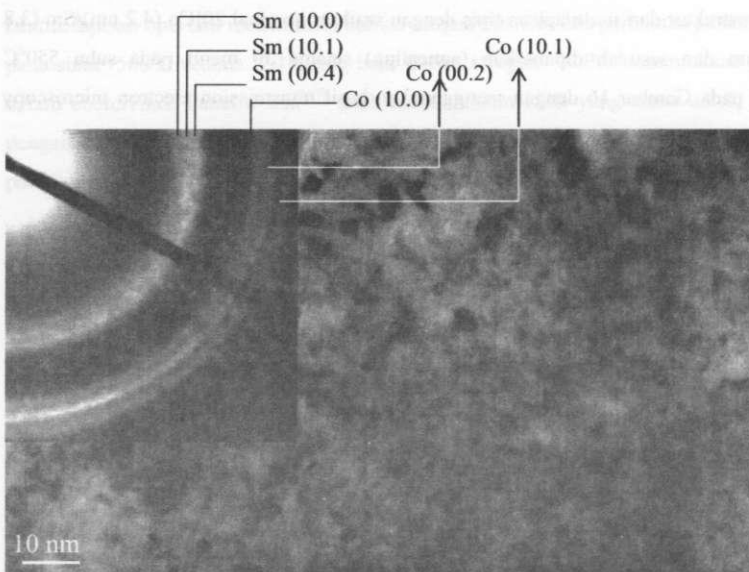
Microstruktur dari multilapisan tipis dengan struktur nominal 20[Co (4.2 nm)/Sm (3.8 nm)] sebelum dan sesudah dipanaskan (annealing) selama 30 menit pada suhu 550°C ditampilkan pada Gambar 16 dengan menggunakan hasil transmission electron microscopy (TEM) dalam bentuk image dan diffraction mode .



Gambar 16 . Hasil TEM dan pola difraksi multilapisan tipis Co//Sm dengan nominal struktur 20[Co (4.2 nm)/Sm (3.8 nm)] tanpa perlakuan panas.

Untuk sampel tanpa perlakuan panas (as deposited sample) mikrostrukturnya tidak terlalu jelas bentuknya dan ukurannya. Setelah mengalami perlakuan panas, (550°C) maka ukuran butiran menjadi lebih besar dan jumlah daerah hitam makin banyak serta terbentuknya formasi fase hexagonal close packed (hcp) dari Sm dan fase Co.

Dari hasil perhitungan jarak antara bidang (d) dalam kristal dengan menggunakan hukum Bragg maka dapat dilihat dengan jelas bahwa nilai d -spacing untuk Sm sedikit lebih kecil dibandingkan dengan hcp samarium murni, semntara nilai d -spacings untuk Co lebih besar dari d untuk hcp cobalt murni. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya subsitusi dari atom cobalt yang ukurannya kecil kedalam hcp samarium.^[69] Pola difraksi electron sedikit berubah ketajamannya ini berarti ukuran dari butiran dalam sampel bertambah besarnya seperti ditunjukkan pada hasil TEM (image) Gambar 17.



Gambar 17. Hasil TEM dan pola difraksi multilapisan tipis Co//Sm dengan nominal struktur 20[Co (4.2 nm)/Sm (3.8 nm)] dipanaskan pada suhu 550°C.

Hamburan sinar-x sudut rendah (Low angle X-ray-Reflectivity)

Low angle X-ray reflectivity adalah sebuah teknik hamburan sinar-x dengan sudut rendah (0-5 derajat) yang dapat digunakan untuk mempelajari struktur dari lapisan tipis atau multilapisan tipis. Kemampuan ini disebabkan oleh reflektivitas yang tinggi dan panjang gelombang yang pendek (0.15406 nm) dari sinar-x dibandingkan dengan ketebalan dari

lapisan tipis dan multilapisan tipis dengan periode ($1 - 10$ nm). Untuk sinar-x datang dengan sudut besar menampilkan penetrasi yang tinggi yang memungkinkan seluruh multilapisan tipis untuk diamati.^[70] dalam teknik ini pengukuran dilakukan dengan memonitor intensitas dari berkas sinar-x terhamburkan dari permukaan sampel relative terhadap intensitas dari sinar-x datang sebagai fungsi 2θ .

Indek bias, n , dari lapisan tipis dalam daerah sinar-x adalah kecil dari satu;^[71] $n = 1 - \delta$ dimana δ adalah parameter yang berhubungan dengan kerapatan electron dari material (lapisan tipis) dalam orde 10^{-5} .^[72] Oleh karena itu, akan muncul sudut kritis dari refleksi internal total pada mana seluruh sinar-x datang telah direfleksi secara total. Dalam daerah diatas sudut kritis, maka sinar-x akan menembus lapisan tipis atau multilapisan tipis lebih dalam.

Gambar 4.11 menunjukkan sebuah contoh dari profil low angle x ray reflectivity untuk multilapisan tipis Co/Sm sebanyak 20 lapisan yang dibuat dengan menggunakan dc magnetron sputtering. Profil ini sesuai dengan hasil TEM pada gambar 4.12. Beberapa puncak maximum tampil dengan jelas yang disebabkan adanya interferensi antara gelombang sinar x terefleksi dari periode multilapisan tipis (bilayer), sementara puncak difraksi yang kecil merupakan periode dari frinji interferensi (interference fringes, Kiessig) yang ditentukan oleh ketebalan total dari multilapisan tipis. Dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa intensitas dari sinar x terhambur nilainya menurun ketika sudut sinar datang bertambah. Penurunan ini dikamakan oleh bertambahnya interfensi destruktif dan attenuasi dari berkas sinar x dengan ketebalan dari lapisan tipis.

Multi Lapisan Tipis Magnetic (Magnetic Multilayer Films)

Struktur multi lapisan magnetic yang dibuat secara artificial biasanya dijelaskan sebagai struktur selang seling (sandwiches) dari material ferromagnetic dan material non magnetic (atau 'spacer'). Lapisan ini menampilkan sifat magnetic yang tidak biasa seperti perpendicular magnetic anisotropy (PMA)^[73] dan efek giant magnetoresistance (GMR).^[74] Beberapa grup peneliti^[75,76] menyatakan bahwa sifat magnetic dari lapisan multilayer sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan antar lapisan dan morfologi dari lapisan tipis individu.

Dua kriteria yang mempengaruhi penampilan dari lapisan multilayer adalah unifomitas dari lapisan (kekasaran dan ketebalan) dan ketajaman dari interface antara lapisan-lapisan dari multilayer. Biasanya kekasaran dari interface pada tiap-tiap lapisan dijelaskan dengan probabilitas dan distribusi dari tingkat ketinggian satu atom atau lebih, sementara



ketajaman dari interface multilapisan tipis biasanya berhubungan dengan interdifusi local yang menghasilkan zona mirip campuran (alloy-like zone) dengan ketebalan tertentu.^[77] Estimasi terhadap kualitas interface dari multilapisan tipis dapat dipelajari dengan menggunakan hamburan sinar -x bersudut rendah (low angle X-ray reflectivity) dan difraksi neutron. Payne *et al* ^[78] telah mempelajari kekasaran permukaan dari multilapisan tipis dari Fe dan Cr dengan struktur [Fe(2.4 nm)/Cr(3.0 nm)] sebagai fungsi gas sputtering yang dalam penelitian ini digunakan argon dengan menggunakan teknik hamburan sinar-x bersudut rendah. Mereka menemukan bahwa kekasaran permukaan interface bertambah seiring dengan bertambahnya tekanan dalam ruang sputtering. Penambahan kekasaran ini disebabkan oleh pengurangan mobilitas dari atom-atom dan fluktuasi kekasaran dari setiap lapisan yang terdiri dari campuran antara kedua elemen yang digunakan.

Pengaruh campuran antar lapisan (intermixed layer) antara bahan ferromagnetic dan non magnetic pada sifat magnetic dari multilapisan tipis telah dipelajari oleh beberapa peneliti antara lain oleh Clemens *et al*.^[79] yang mana multilapisan tipis yang terdiri dari lapisan Fe/Zr menampilkan campuran yang bersifat amorphous ketika di panaskan pada suhu 350°C. Pengaruh ketebalan lapisan non magnetic pada sifat magnetic pada multilapisan tipis ini dan ditemukan bahwa ketebalan dari bahan non magnetic (Zr) merubah sifat magnetic dari Fe dari sifat ferromagnetic menjadi paramagnetic dibawah ketebalan tertentu.

Sifat penting dari modifikasi terhadap multilapisan tipis adalah perubahan dalam nilai magnetisasi. Penambahan terhadap nilai saturasi magnetisasi terjadi pada material Co/Pd,^[80] Fe/Co,^[81] and Fe/Ag.^[82] Penambahan nilai ini disebabkan oleh bertambahnya momen magnetic untuk atom bahan ferromagnetic pada interface. Untuk kasus multilapisan tipis Fe/Mo,^[83] bertambahnya nilai saturasi magnetisasi disebabkan oleh ekspansi jarak antar atom Fe. Percampuran antar ferromagnetic dan non magnetik pada interface dari multilapisan tipis dengan cara diffuse diatur dengan dua cara tergantung pada perbedaan ukuran dari atom antara lapisan. Untuk atom berukuran kecil berdifusi dengan cara mekanisme interstitial, sementara untuk atom yang berukuran besar berdifusi dengan cara mekanisme substitusi.^[84,85]



Gambar 18. Bayangan multilapisan tipis dengan struktur 20[Co (1.1 nm) /Sm 1.2 nm]] pada elektron microscopy (HRTEM)

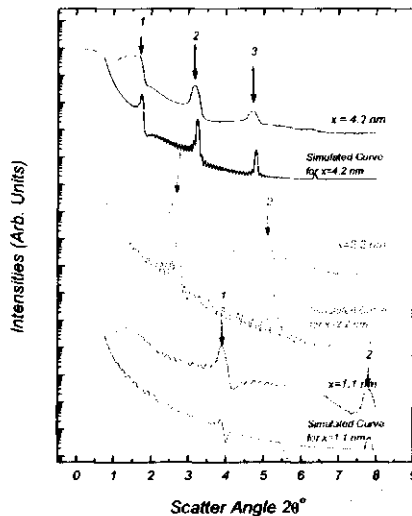
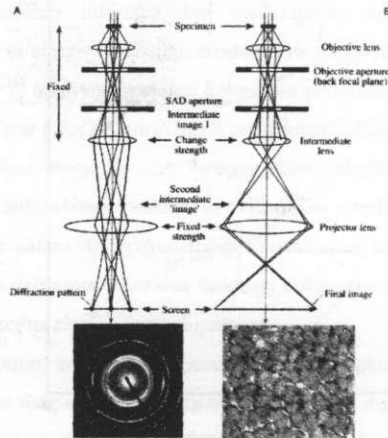


Figure 19. Profil dari low angle X-ray reflectivity dari multilapisan tipis Co/Sm dengan struktur 20[Co(2.0nm)/Sm(2.5nm)]

Transmission Electron Microscope (TEM)

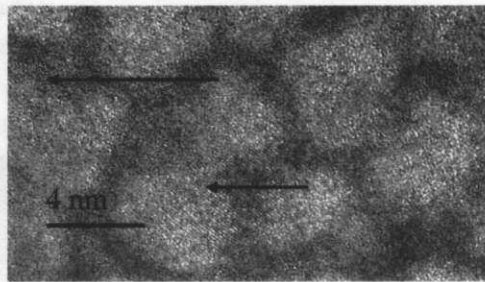
TEM adalah sebuah mikroskop yang merupakan sebuah teknik efektif yang dapat digunakan untuk mengamati struktur material. Secara khusus TEM dapat digunakan untuk mengamati mikrostruktur bagian dalam dan struktur magnetik seperti konfigurasi domain dari lapisan tipis. Kemampuan ini disebabkan oleh daya resolusi yang tinggi (high resolving power) sebagai akibat dari penggunaan electron sebagai sumber penerangan dengan panjang gelombang yang sangat pendek (10^{-12} m). Berkas electron ini berasal dari electron gun yang dipercepat dalam ruang vacuum dengan tegangan tinggi yaitu antara 100.000 – 1.000.000 volt. Tidak seperti mikroskop optic yang menggunakan lensa optic sebagai lensanya namun mikroskop electron menggunakan lensa magnetik. Kemampuan dari mikroskop ini dapat memperbesar bayangan sampai 500.000 kali. Prinsip dasar dari TEM ditunjukkan secara skema pada Gambar 4.6 yang terdiri dari sebuah kolom yang harus dalam keadaan vacuum (tekanan sekitar 10^{-7} Torr). Elektron yang diemisikan dari filament (sumber electron) dipercepat oleh variable potensial antara grid cap dan anode dari electron gun menuju sampel yang sedang diamati. Berkas electron ditransmisikan melalui sampel kemudian difokuskan oleh lensa objektif untuk membentuk bayangan mula-mula. Bayangan ini kemudian

diperbesar oleh lensa intermediate dan bayangan akhir diproyeksikan ke layar dengan menggunakan lensa projector.

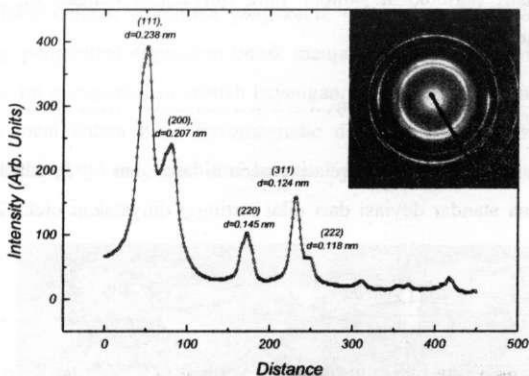


Gambar 20. Representation skema dari TEM. Dari Referensi.^[86]

Salah satu prinsip dasar operasi dari TEM adalah teknik selected area diffraction (SAD). Teknik ini ditemukan oleh Le Pole^[87] dan digunakan untuk mempelajari struktur dari kristal untuk daerah tertentu dalam lapisan tipis. Cara standar untuk melakukan ini adalah dengan memilih aperture yang sesuai yang kemudian diarahkan kedalam bidang bayangan intermediate seperti Gambar 20a sehingga hanya electron yang ada pada daerah itu saja yang diizinkan melewati daerah tertentu dari lapisan tipis untuk membentuk pola SAD. Sebagai contoh, dengan menggunakan aperture yang berukuran 50 μm maka dapat dipilih sebuah daerah 2 μm pada sampel sehingga bayangan dapat diperbesar sekitar 25x dibawah lensa objective.



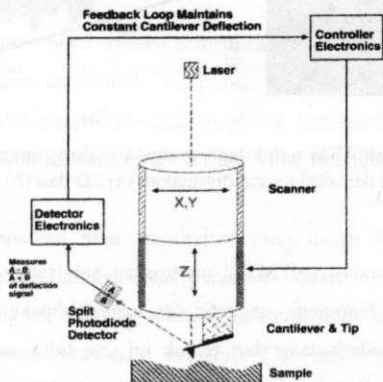
Gambar 21. Bayangan sampel dengan menggunakan TEM untuk lapisan tipis $\text{Co}_{80}\text{Sm}_{20}$ menampilkan butiran yang teratur yang terpisah satu dengan yang lainnya. Tanda panah menunjukkan nanocrystals.



Gambar 22. Hasil pemindaian pola difraksi dan pola difraksi dari $\text{Co}_{90}\text{Sm}_{10}$, menampilkan struktur face centered cubic (f.c.c.).

Atomic/Magnetic Force Microscope (AFM/MFM)

Atomic force microscope (AFM) adalah merupakan family dari scanning probe microscope (SPM) and khusus dirancang untuk meneliti morfologi dari permukaan lapisan tipis dalam skala atom. MFM merupakan versi modifikasi dari AFM^[88] yang dapat digunakan untuk mengamati mikrostruktur magnetik dari lapisan tipis. Penjelasan detail mengenai mikroskop ini dapat dilihat dalam referensi.^[89] Bagian penting dari AFM secara skematik ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Diagram skema dari atomic force microscope (AFM) dari referensi.^[90]

Dari hasil pemindaian yang dilakukan oleh AFM, maka dapat ditentukan kekasaran permukaan lapisan tipis. Parameter

kekasaran rata-rata dari permukaan sampel yang dinyatakan dengan R_a , dan standard deviasinya R_{ms} didefinisikan sebagai ^[91]

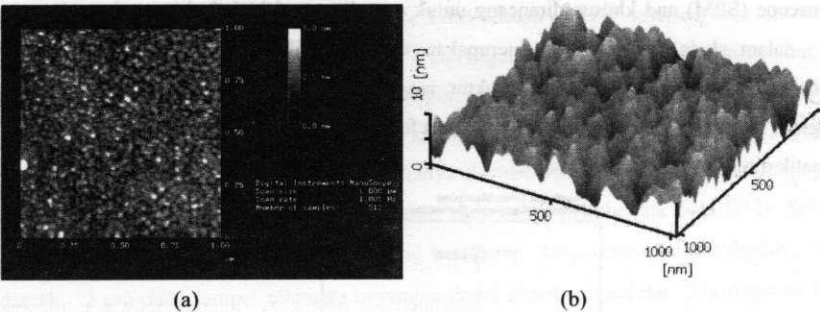
$$R_a = \frac{1}{L_x L_y} \int_0^{L_x} \int_0^{L_y} |f(x,y)| dx dy, \dots\dots\dots (16)$$

dimana $f(x,y)$ adalah posisi permukaan relative pada bidang, dan L_x, L_y adalah dimensi dari permukaan. Sedangkan standar deviasi dari nilai tertinggi dinyatakan oleh Z didefinisikan sebagai ^[91]

$$R_{ms} = \sqrt{\frac{\sum (Z_i - Z_{ave})^2}{N}}, \dots\dots\dots (17)$$

dimana Z_{ave} adalah nilai rata-rata seluruh posisi vertical (Z), Z_i nilai Z ke i dan N adalah jumlah titik selama pemindaian.

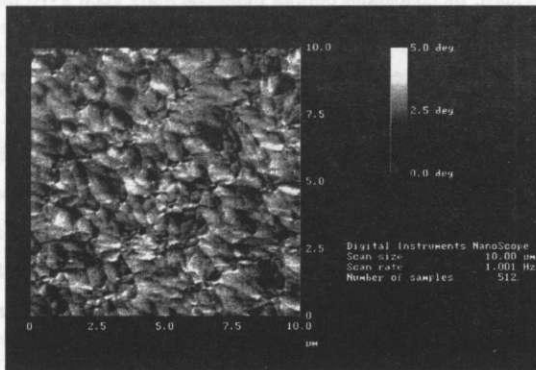
Gambar barikut ini hasil pemindaian dari permukaan sampel lapisan tipis $Co_{90}Sm_{10}$ dengan menggunakan atomic force microscope (AFM) menampilkan strukrur butiran dan skala yang digunakan untuk (a) 2 dimensi dan (b) 3dimensi



Gambar 24. Hasil pemindaian AFM untuk lapisan tipis $Co_{90}Sm_{10}$ menampilkan strukrur butiran dan skala yang digunakan (a) 2D dan (b) 3D

Magnetic force microscopy (MFM)^[92] merupakan sah satu teknik yang menarik digunakan untuk mempelajari fenomena magnetic dan banyak dipakai dalam industry hard disk secara komersial.^[93] Kesederhanaan dari teknik ini dan tidak memerlukan persiapan khusus bagi sampel yang akan dipindai menyebabkan alat ini makin poluler untuk digunakan. Prinsip dasar dari operasional mikroskop ini adalah sebagai berikut. Jika tip (ujung cantilever) dengan konstanta pegas sebesar 0.1-1 N/m didekatkan dengan permukaan lapisan tipis magnetik, maka ujung tersebut mengalami gaya magnetic yang kecil dan menyebabkan tip

tersebut terdefleksi dengan amplitude yang kecil. Defleksi ini dideteksi melalui gerakan sensor dan loop pengontrol digunakan untuk menjaga agar defleksi ini memiliki nilai yang konstan. Teknik ini menghasilkan sebuah bayangan yang nilainya sebanding dengan gradient gaya magnetic local antara butir ferromagnetic dengan tip magnetik. Gambar bayangan permukaan mikrostruktur magnetic dari lapisan tipis $\text{Co}_{80}\text{Sm}_{20}$ ditampilkan pada Gambar berikut ini, 25.



Gambar 25. Bayangan mikrostruktur magnetic dari lapisan tipis $\text{Co}_{90}\text{Sm}_{10}$ diambil menggunakan MFM dengan luas derah pindai $10\mu\text{m}^2$.

Kesimpulan

Campuran antara metal transisi dengan rare earth metal seperti cobalt dan samarium dalam komposisi tertentu katakanlah $\text{Co}_{84.4}\text{Sm}_{16.6}$ dalam bentuk lapisan tipis dapat digunakan sebagai material media penyimpanan data megnetik berkapasitas tinggi karena material ini memiliki magnetocrystalline anisotropy energy yang tinggi atau memiliki coercivitas yang tinggi.

Untuk mendapatkan nilai coercivitas yang tinggi dari material ini maka dapat dilakukan (1) modifikasi dari beberapa parameter sputtering diantaranya adalah mengatur kondisi sputtering seperti tekanan sputtering, deposision rate, energy magnetron, waktu sputtering, suhu substrate dan base pressure. (2) Parameter lainnya adalah konsentrasi campuran, ketebalan campuran antara cobalt dan samarium ($\text{Co}_{100-x}\text{Sm}_x$) dalam bentuk lapisan tipis. (3) menggunakan lapisan bawah (underlayer material) dengan mengatur ketebalan dan kekasaran permukaannya serta hubungan epitaxy antara underlayer dengan

material magnetic. (4) membuat lapisan tipis dalam bentuk multilapisan tipis (multilayers films).

Lapisan tipis cobalt samarium adalah salah satu material yang sesuai untuk media penyimpanan data secara magnetic dengan kapasitas tinggi karena memiliki nilai magnetocrystalline anisotropy yang tinggi. Namun ada beberapa kendala yang harus diatasi sebelum bahan ini dapat digunakan sebagai media penyimpanan data magnetic seperti mengurangi sifat oksidasi, mendapatkan butiran magnetic yang kecil (<10 nm) dan menjaga agar interaksi antara butiran magnetic tetap kecil.

Cara alternatif untuk memperbaiki dan mengoptimasi sifat magnetic khususnya coercivity adalah dengan cara membuat multilapisan tipis dari cobalt dan samarium. Nilai coercivity akan mengalami perubahan yang luar biasa apabila multilapisan tipis ini mendapat perlakuan panas (annealing). Suhu annealing pada multilapisan tipis dapat memodifikasi sifat magnetiknya. Efek ini memberikan nilai maksimum pada coercivity Co/Sm pada suhu 450°C apabila diannealing selama 30 menit. Penelitian lanjutan tentang pengaruh suhu terhadap sifat magnetic dari lapisan tipis CoSm ini dipelajari dengan melakukan pembuatan sample melalui pemanasan dari substrat (elevated substrate temperature).

Referensi

- [1] M.F. Doerner, K. Tang, T. Arnoldussen, H. Zeng, M.F. Toney and D. Weller, *IEEE Trans. Magn.*, **36**, 2000.
- [2] S.H. Charap, P.-L. Lu, Y. He, *IEEE Trans. Magn.*, **33**, 978, 1997.
- [3] J. Zhang, Y. K. Takahashi, R. Gopalan, and K. Hono, *J. Magn. Mater.* **310**, 1 2007.
- [4] Cullity, B.D. and Graham, C.D. *Introduction to Magnetic Materials*. 2nd Edition. Hoboken : John Wiley & Sons, 2009.
- [5] H.C. Theuerer, E.A. Nesbitt and D.D. Bacon, *J. Appl. Phys.*, **10**, 2994, 1969.
- [6] M. Gronou, H. Goelke, D. Schuffler, S. Sprongcr, *IEEE Trans. Magn.*, **19**, 1653, 1983.
- [7] E.M.T. Velu and D.N. Lambeth, *IEEE Trans. Magn.*, **28**, 3249, 1992.
- [8] E.M.T. Velu, D.N. Lambeth, J.T. Thornton and P.E. Russel, *J. Appl. Phys.*, **75**, 6132, 1994.
- [9] V. Geiss, E. Kneller and A. Nest, *Appl. Phys.*, **A27**, 79, 1982.
- [10] M. Benaissa and K.M. Krishnan, *IEEE Tans. Magn.*, **34**, 1204, 1998.
- [11] E.M.T. Velu and D.N. Lambeth, *J. Appl. Phys.*, **69**, 5175, 1991.
- [12] S.A. Majeticch, K.M. Chowdary, and E.M. Kirkpatrick, *IEEE Trans. Magn.*, **34**, 985, 1998.
- [13] S.A. Romero, D.R. Cornejo, F.M. Rhen, A.C. Neiva, M.H. Tabacniks and F.P. Missell, *J. Appl. Phys.*, **87**, 6965, 2000.
- [14] E.W. Siglton, Z.S. Shan, Y.S. Jeong and D. J. Sellmyer, *IEEE Trans. Magn.*, **31**, 2743, 1995.
- [15] P. Robert, 'Thin Film Process II', Edited by J.L. Vossen and W. Kern, Academic Press Inc. pp 177-1001



- [16] F.J. Cadieu, T.D. Cheng, L. Wickramasekara, N. Kamprath, H. Hedge and N.C. Liu, *J. Appl. Phys.*, **62**, 3866, 1987.
- [17] M.B. Stearns, C.H. Lee, and T.L. Groy, *Phys. Rev.*, **B40**, 8256, 1989.
- [18] F.Z. Cui, Y.D. Fan, Y. Wang, A.M. Vredenberg, H.J.D. Draaisma, and R. Xu, *J. Appl. Phys.*, **68**, 701, 1990.
- [19] K. A. Petford-Long, P.J. Grundy and J.P. Jakubovics, *IEEE Trans. Magn.*, **26**, 2733, 1990.
- [20] T. Van Vorous, *Solid State Technol.*, **19**, 62, 1976.
- [21] S. Schiller, U. Heisig and K. Goedicke, *Thin Solid Films*, **40**, 327, 1977.
- [22] J.A. Thornton, *J. Vac. Sci. Technol.*, **15**, 171, 1978.
- [23] J.A. Thornton and S.A. Penfold, *'Thin Film Processes'*, p75, Academic Press, NY, 1978.
- [24] D.R. Lide, Ph.D, *'CRC Handbook of Chemistry and Physics: A Ready Reference Book of Chemical and Physical Data'*, 32nd Edition.
- [25] K. Strnat, G. Hoffer, J. Olson, W. Ostertag and J.J. becker, *J. Appl. Phys.*, **38**, 1001, 1967.
- [26] F.F. Westendorp, *App. Phys. Lett.*, **20**, 441, 1972.
- [27] K.J. Strnat, *'Ferromagnetic Materials: A handbook on the properties of magnetically ordered substances'*, Vol. 4, ed. E.P. Wohlfarth and K.H.J. Bushchow, 1988.
- [28] D.L. Martin, M.G. Benz and A.C. Rockwood, *AIP Conf. Proc.*, **1**, 583, 1972.
- [29] E.A. Nesbitt and J.H. Wernick, *'Rare Earth Permanent Magnets'*, Academic Press: New York and London, 1973.
- [30] D.L. Martin, M.G. Benz and A.C. Rockwood, *AIP Conf. Proc.*, **1**, 583, 1972.
- [31] J. Fidler, *Phill. Mag.*, **B46**, 565, 1982.
- [32] D.L. Martin, M.G. Benz, *IEEE trans. Magn.*, **8**, 35, 1972.
- [33] R.J. Hijken, D. Daboo, M. Gester, A.J.R. Ives, S.J. Gray, and J.A.C. Bland, *J. Appl. Phys.*, **78**, 6670 1997.
- [34] G. Bate, *J. Appl. Phys.*, **37**, 1164, 1966.
- [35] H.N. Bertram, *Proc IEEE*, **74**, 1491, 1986.
- [36] S. Iwasaki, Y. Nakamura, *IEEE Trans. Magn.*, **13**, 1271, 1977.
- [37] W. Cain, A. Payne, M. Baldwinson, R. Hempstead, *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 97, 1997.
- [38] D. Weller, *JMMW03*, 5th Joint UK Magnetism Workshop University of Glasgow, 2-4 July 2003.
- [39] P.J. Grundy, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **31**, 2795, 1998.
- [40] Z. Zhang, Y.C. Feng, T. Clinton, G. Badran, N-H. Yeh, G. Tarnopolsky, E. Girt, M. Munteanu, S. Harkness, H. Richter, T. Nolan, R. Rajan, S. Hwang, G. Rauch, M. Ghaly, D. Larson, E. Singleton, V. Vas'ko, J. Ho, F. Stageberg, V. Kong, K. Duxstad, and S. Slade, *IEEE Trans. Magn.*, **38**, 1861, 2002.
- [41] D. Weller, 5th Joint UK Magnetic Workshop, University of Glasgow, 2-4 July 2003.
- [42] E.S. Murdock, R.F. Simmons and R. Davidson, *IEEE Trans. Magn.*, **28**, 3078, 1992.
- [43] H.C. Theurrer, E.A. Nesbitt, D.D. Bacon, *J. Appl. Phys.*, **40**, 2994, 1969.
- [44] F. Hofer, *IEEE Trans. Magn.*, **6**, 221, 1970.
- [45] J. Daval, and D. Randet, *IEEE Trans. Magn.*, **6**, 768, 1970.
- [46] T. Yogi, T.A. Nguyen, S.E. Lambert, G.L. Gorman and G. Caslillo, *IEEE Trans. Magn.*, **26**, 1578, 1990.
- [47] Y. Okumura, H. Fujimori, O. Suzuki, N. Hosoya, X.B. Yang and H. Morita, *IEEE Trans. Magn.*, **30**, 4038, 1994.
- [48] D.N. Lambeth, F.M.T. Velu, G. Bellesis, I.I. Lee, and D.E. Laughlin, *J.*



- Appl. Phys., **79**, 4496, 1996.
- [49] Y. Liu, D.J. Sellmyer, and B.W. Robertson, Z.S. Shan and S.H. Liou, IEEE Trans. Magn., **31**, 2740, 1995.
 - [50] Q. Peng, H.N. Bertram, N. Fussing, M. F. Doerner, M. Mizumaani, D. Margulies, R. Sinclair, and S. Lambert. IEEE Trans. Magn., **31**, 2821, 1995.
 - [51] Y. Liu, D.J. Sellmyer, and B.W. Robertson, J. Appl. Phys., **79**, 5333, 1996.
 - [52] E.M.T. Velu and D.N. Lambeth, J. Appl. Phys., **69**, 5175, 1991.
 - [53] D.J. Sellmyer and Z.S. Shan, 'Magnetic Hysteresis in Novel Magnetic Materials', Kluwer Academic Publishers, Edited by G.C. Hadjipanayis, 338, 419, 1997.
 - [54] L.L. Lee, D.E. Laughlin, L. Fang and D.N. Lambeth, IEEE Trans. Magn., **31**, 2728, 1995.
 - [55] G. Bate, J. Appl. Phys., **37**, 1164, 1966
 - [56] E.M.T. Velu and D.N. Lambeth, IEEE Trans. Magn., **28**, 3249, 1992.
 - [57] S. Takei, A. Morisako, M. Matsumoto, J. Appl. Phys., **87**, 6968, 2000.
 - [58] R. Rajan, J.A. Cristner and D.P. Rapihati, IEEE Trans. Magn., **26**, 322, 1990.
 - [59] M. Ishikawa, K. Terao, M. Hashimoto, M. Tabi, Y. Ota and K. Nakamura, IEEE Trans. Magn., **26**, 1602, 1990.
 - [60] T. Yogi, T.A. Nguyen, C. Hwang, M.A. Kakalec and S.E. Lambert, IEEE Trans. Magn., **24**, 2727, 1988.
 - [61] E.M.T. Velu and D.N. Lambeth, J.T. Thornton and P.E. Russel, J. App. Phys., **75**, 6132, 1995.
 - [62] C. Prados and G.C. Hadjipanayis, J. Appl. Phys., **83**, 6253, 1998.
 - [63] V. Neu and S.A. Shaheen, J. Appl. Phys., **86**, 7006, 1999.
 - [64] V. Geiss, E. Kneller, A. Nest, Appl. Phys. **A27**, 79, 1982.
 - [65] S.S. Malhorta, Y. Liu, R.A. Thomas, Z.S. Shan, S.H. Liou, D.C. Stafford and D.J. Sellmyer, J. Appl. Phys. **79**, 5988, 1996.
 - [66] R. Andreescu and M. J. O'Shea, J. Appl. Phys. **97**, 10F302 2005 .
 - [67] Y. Liu, R.A. Thomas, S.S. Malhorta, Z.S. Shan, S.H. Liou and D.J. Sellmyer, J. Appl. Phys. **83**, 6244, 1998.
 - [68] L. Néel, Comptes Rendus **255**, 1676, 1962.
 - [69] H. Han, R.S. Averback, and H.M. Shyu, J. Less-Common Metals, **140**, 345, 1988.
 - [70] E. Spiller and A. Rosenbluth, Proc. SPIE, **563**, 221, 1985.
 - [71] J. Lekner, 'Theory of Reflection', Nijhoff, Dordrecht, 1987.
 - [72] E. Chason and T.M. Mayer, Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, **22**(1), 1, 1997.
 - [73] P.J. Grundy, S.S. Bakkair, and M. Ohkoshi, IEEE Trans. Magn., **25**, 3626 1989.
 - [74] M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert, V.D.F. Nguyen, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett., **61**, 2472, 1989.
 - [75] T. Suzuki, H. Notarys, D.C. Dobbartin, C.J. Lin, D. Weller, D.C. Miller and G. Gorman, IEEE Trans. Magn., **28**, 2754, 1992.
 - [76] W.B. Zeper, H.W. Kestern, B.J. Jacobs, J.H.M. Spruit and P.F. Carcia, J. Appl. Phys., **70**, 2264, 1991.
 - [77] L.H. Bennett and R.E. Watson, 'Magnetic Multilayers', Word Scientific Publishing Co., 1994.
 - [78] A.P. Payne, H. Kataoka, M. Farle, B.M. Clemens, Mat. Res. Soc., **231**, 165, 1991.
 - [79] B.R. Clemens and M.J. Suchoski App. Phys. Lett., **47**, 943, 1985.
 - [80] F.J.A. den Broeder, H.C. Donkersloot, H.J.G. Draaisma, and W.J.M. de Jonge, J. Appl. Phys., **63**, 3497, 1988.



- [81] B. Sato, J. Appl. Phys., **67**, 4462, 1990.
- [82] B. Krishnan, and M. Tessier, J. Appl. Phys., **67**, 5391, 1990.
- [83] Y. Wang, F.Z. Cui, W.Z. Li and Y.D. Fan, Mat. Res. Soc., **231**, 417, 1991.
- [84] M. Kijek, M. Ahmadzadeh, B. Cantor and R.W. Cahn, Scripta Metall, **14**, 1337, 1980.
- [85] H. Han, R.S. Averback and H.M. Shyu, J. Less-Common Metals, **140**, 345, 1988.
- [86] D.B. Williams and C.B. Carter, '*Transmission Electron Microscopy: A TextBook for Materials Science*', Plenum Press, 1996.
- [87] Le Pole J.B, Philips Tech. Rundsch, **9**, 93, 1947.
- [88] G. Binning, C.F. Quate and Ch. Gerber, Phys. Rev. Lett., **56**, 930, 1986.
- [89] Digital Instruments Dimension 3000 Scanning Probe Microscopy (SPM).
- [90] Digital Instruments, Scanning Probe Microscopy, Training Notebook.
- [91] Reference Manual for Nanoscope III, Ver. 2.1, Digital Instruments Inc, 6780 Cartona Drv., Santa Barbara, CA.
- [92] Y. Martin and H.K. Wickramasighe, Appl. Phys. Lett., **50**, 20, 1987.
- [93] D. Rugar, H.J. Mamin, P. Guethner, S.E. Lambeth, J.E. Stern, I. McFadyen, and T. Yogy, J. Appl. Phys., **68**, 3, 1990.



**Bapak Rektor/Ketua Senat dan Anggota Senat Universitas Riau,
hadirin yang saya muliakan**

Kesempurnaan akal yang diberikan oleh Allah SWT kepada manusia merupakan modal utama bagi kita untuk dapat mengeksplorasi alam semesta berdasarkan ilmu pengetahuan yang selaras dengan agama kita masing masing sehingga dapat menjadikan kehidupan dimuka bumi ini menuju ketinggian yang lebih baik.

Saya bersyukur kepadaNya atas nikmat yang diberikan sehingga saya memiliki kesempatan untuk mengembangkan ilmu pengetahuan bersama sama dengan teman teman lain sampai ketinggian yang paling tinggi yaitu Doktor. Hari ini, saya dikukuhkan untuk memangku jabatan keilmuan tertinggi yaitu sebagai Guru Besar dalam bidang Fisika Material khususnya Condensed Matter Physics (CMP), Magnetic Material and Magnetism (MMM) pada Jurusan Fisika FMIPA UR.

Gelar dan jabatan akademik yang saya peroleh hari ini merupakan suatu rangkaian proses perjuangan panjang dan tentu saja merupakan wujud dari doa dan perjuangan tanpa pamrih dari kedua orang tua saya **Ayahanda H. Amiruddin, Gelar Depati Nyoto Negero dan Ibunda Hj. Nurjalis Ja'far**. Beliau dengan penuh kesabaran dan kasih sayang telah berhasil membesarkan dan mendidik kami sehingga kami menjadi manusia dewasa seperti saat ini. "*Jasa kedua beliau tidak mungkin dapat dibalas*". Karena itu, hanya doa yang selalu kami sampaikan ke khadirat Allah SWT semoga Beliau berdua selalu dalam ridho Nya Amin!. Kepada Ntino (zayah), Ntino Pandak, Bintang (alm), Nyantan, Ja'far (alm), PanDak Abu Kalifah, Paknek Mohammad Thaher (alm), datunda Sari Banun dan Sabariah, serta Mak cik Ermayulis, Muslia S.Pd dan Suryani yang telah ikut memperhatikan kami sewaktu masih kecil. Terima kasih atas jasa jasanya, semoga Allah SWT membalas jasa jasanya.

Rahmat Mu ya Allah semakin terasa dan berarti bagi saya ketika Engkau menganugrahi saya seorang istri yang tercinta : **Hj. Deslita Lifali, S.Pd**, yang telah melahirkan tiga orang anak kami tersayang **Arif Haryadi** (saat ini Mhs sastra Inggris Universitas Sumatra Utara, Medan), **Irene Yahanna dan Novalin Putri** (SMA Babussalam Pekanbaru) Saya menyayangi mereka semua. Senyum mereka memberi semangat bagi saya terutama ketika mereka semua ikut menemani saya ketika saya mengikuti program Doktor di Salford University, England, UK. Semoga mereka menjadi anak yang soleh dan berguna bagi nusa dan bangsa. Dihari yang bersejarah ini, Ayahanda mertua saya **H. Lifali dan Ibunda Mertua saya Hj. Tasiah** tidak bisa ikut hadir secara fisik dalam acara pengukuhan ini karena beliau sudah tiada. Beliau berdua telah banyak berjasa dalam kehidupan rumah tangga kami, sanggup bagi kami untuk membalasnya.



Maka dengan hati yang suci kami mengucapkan terima kasih atas semuanya dan kami selalu berdoa semoga Beliau Berdua selalu dalam pangkuan-Nya di Alam Ukhrawi sana, Amin!.

Kepada kakanda Jasmita, S.Pd dan adik adiku tercinta yang memberikan semangat dan dorongan dalam perjuangan selama ini. **Dinda Lismiati, Ertina, S.Pd, Eli Susmita, S.Pd, Eva Marya, S.Pd, Lismi Erina, S.Si dan Anita Meri, S.Si.** Semua Ipar-Ipar yang baik: Mamanda Paryadi, Mamanda Sutan Taris, A.Md, Mardin, Sukasmin A. Md, Lismadi, S.Pd, Wizarlan, S.Pd, Briptu Jos Herman (Alm). Bertukar pikiran dan bersenda gurau bersama selama ini adalah sesuatu yang menyenangkan dan membuat kehidupan ini menjadi semakin indah dan menarik. Semoga kita tetap rukun selamanya dan terimakasih atas segala kabaikannya. Saya juga berterimakasih kepada adik-adikku yang lain : Dinda Niraya, S.Pd, Petridal, S.Pd, Agusrali, S.Si, Madalena, S.Si, Arnal Junaidi dan Julies, ST. Semoga hubungan dan kerjasama kita selama ini mendapat berkah dari Allah SWT. Begitu juga dengan adik ipar yang telah ikut serta memberikan dorongan dan dukungan kepada kami: Sukman, S.Pd, Mahyudin, S.Pd, Yuliana, S.Pd, M.Si.

**Bapak Rektor/Ketua Senat dan Anggota Senat Universitas Riau,
hadirin yang saya muliakan**

Saya pada kesempatan yang berbahagia ini sudah sepantasnya menyampaikan ucapan terima kasih kepada pemerintah Republik Indonesia , yang dalam hal ini, Menteri Pendidikan dan Kebudayaan, yang telah mengangkat saya dalam jabatan fungsional dosen sebagai Guru Besar dalam bidang Fisika Material khususnya CMP dan MMM melalui surat keputusannya No.125591/A.43/KP/2012, tanggal 30 Nopember 2012. **Bapak Rektor/Ketua Senat Universitas Riau** Prof. Dr. H. Ashaluddin Jalil, M.S yang sangat berperan, kepada Beliau saya ucapkan terima kasih dan menyampaikan penghargaan yang setinggi tinginya. Kepada para anggota Senat Universitas Riau, saya mengucapkan terima kasih atas persetujuan dan kerjasama serta dukungannya sehingga terlaksananya acara pengukuhan ini.

Kepada Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Riau : Prof. Dr. Adel Zamri, M.S, DEA, terima kasih atas dorongan dan dukungannya agar saya secepatnya mengusulkan jabatan saya ke Guru Besar. Ucapan yang sama juga disampaikan kepada Dekan sebelumnya Dra. Hj. Chainulfiffah. AM, M.Sc karena smasa kempemimpinannya saya banyak mendapat dorongan dan dukungan agar saya lebih cepat melangkah menuju posisi Guru Besar.

Kepada guru-guruku di SD Negeri III Kumun diantaranya : Ibu Rosmidar, ani, Ramlah, Bapak Syech Kardi,



Mohd. Kamal (Alm), Syafriil Karim, Syamsir (Alm), Mukimin (Alm), Buya Rusli Yunus dan Karim. Suatu kenangan yang tak pernah terlupakan yaitu ketika kami bersama sama belajar dalam sekolah yang belum ada dindingnya dan berlantaikan tanah dan sebagian atapnya terbuat dari daun kelapa kering. Walaupun demikian hampir semua anak didiknya pada hari ini telah berhasil. Terima kasih yang tulus dan penghargaan yang setinggi tingginya kepada guru-guru kami tersebut.

Kepada guru-guruku di SMPN 2 di Sungai Penuh yang letaknya sekitar 6 km dari kampung kami. Ibu Syarifah Buchari (Alm), Bapak Abidin Rafii (Alm), Taharuddin, Mansyur, Kidam St. Mudo (Alm), Ismet Yakin, Azhar dan A. Halil dan masih banyak guru-guru kami yang lain, hampir semuanya sudah tiada. Satu kenangan yang tak terlupakan karena keterbatasan ruang kelas, maka kami dipindahkan kesekolah yang baru dibangun letaknya semakin jauh dari kampung kami yaitu sekitar 8 km dan setaip hari kami kesekolah dengan berjalan kaki selama kurun waktu 2 tahun. Sungguhpun demikian tidak menyurutkan semangat kami untuk tetap belajar dan tidak sedikit muridnya pada hari ini telah berhasil berkat didikannya. Terima kasih saya ucapkan kepada mereka semoga amal baikmu selalu dalam Ridhonya Amin.

Kepada guru-guruku di STM Negeri Sungai Penuh 1978-1981: Bapak Adnan Yusuf, B.Sc sebagai kepala sekolah pada waktu itu. Guru lainnya adalah Hamdan Manan, B.Sc, Syafwi Manaf, B.Sc (Alm), Nurdin Radi, B.Sc, Mahir Anwar, B.Sc, Rusli, BA Pasma Rafii, B.Sc (Alm), Zirman Zahari, B.Sc, dan guru matematika kami yang saya senangi yaitu pak Muchtar Rafii, B.Sc (Alm), dll. Satu nasihat yang tak pernah terlupakan sampai hari ini dari seorang guru kami Pak Pasma Rafii, B.Sc (Alm) yaitu "Setelah tamat STM kata beliau, lanjutkan pendidikan anda ketingkat yang lebih tinggi dan jangan berhenti belajar". Nasehat ini sekilas memang sederhana namun bagi saya implikasi dari nasihat ini luar biasa dan itulah sebabnya saya masuk ke Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau. Terima kasih kepada guru-guru kami yang telah mengajar dan mempersiapkan mental kami.

Selama Kuliah di Perguruan Tinggi : Bapak Drs. Kurniadi Sumaamijaya, Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Bandung yang telah banyak meluangkan waktunya untuk saya. Saya benar benar merasa terbantu oleh kebijakan Dekan FMIPA pada waktu itu (tahun 1987) Bapak Prof. Drs. Muchtar Rachman yang memperkenalkan saya dengan Bapak Rektor Universitas Riau Prof. Dr. H. Muchtar Lutfi (Alm) sekaligus memminta Beliau untuk dapat menerima saya menjadi dosen di Jurusan Fisika FMIPA Uninversitas Riau dan sekaligus mendorong saya untuk meningkatkan kemampuan bahasa Inggris ke IKIP Malang bersama 6

lg mendorong saya untuk melanjutkan



pendidikan ke program Doktor di Inggris. Pada kesempatan yang terhormat ini saya menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang tulus kepada Beliau. Bapak Prof Drs. H.M. Farid Kasmi (Alm) adalah banyak memberikan masukan dan dorongan kepada saya. Ketika saya berada di USA, beliau sering menelpon saya memberikan semangat dan nasehat. Sudah sewajarnya pada momen yang bersejarah ini saya menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada Beliau. Semoga arwah Beliau di Alam Ukhrawi sana tenang dan selalu dalam pelukan-Nya. Amin....

Kepada Staf Pengajar di Department of Physics Indiana University, Indiana USA : Prof. Londergan, selaku head of Physics Department yang telah menerima kami (saya dan sdr Dr. Adhy Prayitno, M.Sc yang saat ini sebagai Purek IV UR) sebagai mahasiswa transisi sebelum masuk ke Program Master di Ball State University. Staf pengajar lainnya Prof. Ray Kritenden (dosen Quantum Physics), Prof. Alexander Dzirba (dosen Electromagnetic Theory) dan Prof. Richard Hainz (dosen Classical Dynamics). Terima kasih atas Ilmu yang telah diberikan. Saya juga berterimakasih kepada Head of Physics Department BSU, Muncie, Indiana, USA, **Prof. David R. Ober** yang telah menerima saya sebagai mahasiswa program Master dengan beasiswa USAID. Terima kasih kepada **Prof. Ronald M. Cosby** yang telah meluangkan waktunya sebagai pembimbing Thesis saya. Kepada Staf pengajar lainnya : Prof. Gerald Thomas (dosen Quantum Mechanics dan Classical Dynamics), Prof. David Coltenbah (dosen Thermodynamics) , Prof. Paul Errington (dosen Electromagnetic Theory) , Prof. Mahfuza Khatun (dosen Low Dimensional Physics) , Prof. Yung Suk Joe (dosen Nano Structure). Untuk itu saya mengucapkan terima kasih atas ilmu yang diberikan. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada pemerintah Amerika Serikat yang telah menyediakan beasiswa melalui USAID. Kepada Marry Gray, Direktur Asia Foundation yang telah memfasilitasi kami selama berada di USA termasuk persiapan bahasa Inggris di Colorado School. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada direktur Excecutive Higher Education Development Support (HEDS) Project Bapak Prof. Dr. Margono Slamet atas izin Beliau kami dapat melanjutkan pendiidkan ke USA.

Selanjutnya, pada bulan Oktober tahun 1998, saya mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan pendidikan saya ke Program Doktor di Salford University, England, UK dengan dukungan beasiswa Bank Dunia melalui DUE Project. Terima kasih kepada head of **Physics Department Salford University** sekaligus sebagai pembimbing utama Thesis saya, **Prof. P. J. Grundy** dan dibantu oleh Prof. Don Lord sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan S-3 (doctor) saya dibidang Magnetic Material and Magnetism khususnya magnetic memory



Bapak Drs. H. Usman Manan Bc.Hk Sekeluarga. Beliau inilah orang pertama yang saya temui ketika saya pertama sekali datang ke Pekanbaru untuk melanjutkan pendidikan saya di FMIPA Universitas Riau. Bertukar pikiran dengan beliau selama ini sangat menyenangkan dan konstruktif sehingga membuat kehidupan ini menjadi semakin bersemangat. Saya mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Beliau sekeluarga atas segala perhatian dan dorongan terhadap saya. Semoga jasa Beliau tersebut mendapat ridho dari Allah SWT.

Ibu Hj. Mahyani, BA, dan Bapak dr. H. Mursal Amir : Pimpinan Yayasan Abul Wahab Rokan, saya mengucapkan terima yang tinggi pada Beliau berdua atas kepercayaannya memberikan kesempatan bagi saya memangku jabatan Koordinator Fasilitator Rintisan Sekolah Bertaraf Internasional (RSBI) pada yayasan ini serta merekomendasikan saya sebagai Koordinator Fasilitator RSBI untuk SMA Neg. 1 dan SMP Neg 1 Bangkinang dan SMP Neg. 2 Dumai. Berdiskusi dengan Beliau telah banyak memberikan nilai positif dalam kehidupan kami.

Bapak H. Abu Hasan, MA (Alm), alumni Pittsburg University, USA adalah orang yang turut menginspirasi saya untuk melanjutkan pendidikan saya ke USA. Beliau ketika itu adalah seorang pengusaha Nasional. Satu hal yang tak pernah terlupakan saat Beliau mengundang saya untuk datang kerumahnya di Cipete Jakarta. Berdiskusi dengan beliau sungguh hal yang menyenangkan. Satu yang saya salut dengan Beliau bahwa ditengah kesibukan beliau sebagai seorang pengusaha, Beliau masih menyempatkan dirinya untuk menerima kami dirumahnya. Pada akhir pertemuan kami Beliau langsung memanggil anak-anaknya dan menayakan berapa harga dolar saat ini. Alhamdulillah sebagai sesama putra Kerinci Beliau membantu saya sekedar untuk beli air dijalan menuju USA sebanyak \$1000 US. Terlalu banyak uang ini bagi saya waktu itu. Terima kasih dan penghargaan yang tinggi pada Beliau. Semoga Allah SWT membalas budi baik Beliau dengan pahala yang berlipat ganda dan kami mendoakan semoga Beliau beristirahat yang tenang di Alam Ukhrawi sana.

Kepada Prof. Dr. Agus Rubyanto, M.Sc, dosen Fisika ITS Surabaya, Jawa Timur yang telah membaca dan menilai tulisan saya dan selanjutnya telah pula memberikan rekomendasi bahwa tulisan saya layak untuk diajukan sebagai syarat untuk jabatan Guru Besar dibidang Fisika. Untuk itu saya meyampaikan ucapan terima kasih atas rekomendasi ini semoga kebaikan yang telah diberikan kepada saya mendapat balasan dari Allah SWT.

Prof. Dr. Saryono, M.Si dan Prof. Dr. Amir Awaluddin, M.Sc adalah orang yang menginisiasi saya untuk segera mengusulkan jabatan fungsional saya ke jabatan Guru Besar. Telah banyak hal yang dibuat oleh Beliau berdua ini terhadap saya. Oleh karena itu sudah



sementaranya saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada Beliau berdua, semoga Allah SWT membalas semua itu.

Pada kesempatan yang terhormat ini saya menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan kepada dosen - dosen dilingkungan Jurusan Fisika khususnya dan di FMIPA Pada umumnya. Dalam pekerjaan sehari hari apalagi saya sebagai ketua Jurusan Fisika 2 periode (2007-2010 dan 2011 s/d sekarang) disinilah kita banyak berinteraksi serta bersentuhan.

Terimakasih dan penghargaan juga disampaikan kepada : sahabat-sahabat dilingkungan Jurusan Fisika yang telah bersusah payah membantu terlaksananya acara pengukuhan saya pada hari ini. Begitu juga kepada tenaga administrasi baik umum maupun akademik dilingkungan FMIPA beserta seluruh kepanitiaan ditingkat Universitas Riau. Semoga kebaikan yang saudara berikan tersebut mendapat balasan pahala dari-Nya.

Terima kasih juga disampaikan pada acara yang berbahagia ini kepada : keluarga besar Himpunan Keluarga Kerinci (HKK)-Jambi di Riau: H. Mat Rusli, S.H, Kol. Purn. H. Syamsir Karim, Drs. H. Jamal Basir, Buya H. Ahmad Roni, Prof. Dr. Sudirman Johan, MA, H. Manaf, Kombes H. Merah Saleh (alm), H. Milyono, M.Kes, Ir. Misra Hadi, MM, AKBP H. Sukman, MH, AKBP, H. Dasman, S.Sos, AKBP H. Haldun, H. Sudirman Isya, Drs. Harison, M.Si, Jaspardin, S.Pd, Nofiardi, S.Pd, AKBP. Syafrizal, Wahyu Hamidi, SE, M.Si dan H. Martias, BA serta seluruh anggota HKK Riau yang ikut berpartisipasi dalam acara pengukuhan ini.

Saya sadar bahwa banyak orang yang telah berbuat baik dalam hidup saya, saya berhutang budi pada semuanya, namun tidak bisa saya tuliskan namanya satu persatu dalam tulisan ini. Karena itu, perkenankanlah saya dengan tulus memohon maaf dan mendoakan semoga kebaikan kebaikan yang telah diberikan kepada saya mendapat pahala dari Allah SWT. Amin.

Akhirnya saya mohon maaf apabila dalam acara pengukuhan ini terdapat sesuatu yang tidak pada tempatnya.

Sekian dan terima kasih

Wa billahittaufik wal hidayah

Wassalamualikum warahmatullah wabarokatuh

Ttd,



Daftar Riwayat Hidup

Identitas Diri

Nama	Prof. Dr. H. Erwin, M.Sc.
Tempat/Tgl Lahir	Kumun, Kerinci-Jambi /10 Agustus 1962
Jenis Kelamin	Laki-laki
NIP	19620810 198810 1 002
Pangkat/Golongan	Pembina/ IV-A
Jabatan Fungsional	Guru Besar
Bidang Keahlian	Fisika Material (Condensed Matter Physics, Magnetic Material and Magnetism)
Instansi / Tempat Kerja Utama	Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Riau
Alamat Kantor	Jurusan Fisika – FMIPA, Universitas Riau Jln Prof Dr. H Muchtar Lutfi, Sp. Baru, Tampan Pekanbaru
Telp./Fax	+62 (0761) 63272
Alamat Rumah	Jln. Manyar Sakti Gang Kayu Manis 04 SP. Baru, Tampan – Pekanbaru
Email	erwin_amuruddin@yahoo.com

Keluarga

Ayah	H. Amiruddin, Gelar : Depati Nyoto Negoro
Ibu	Hj. Nurjalis
Istri	Hj. Deslita Lifali, S.Pd
Anak	1. Arif Haryadi (Mhs Fakultas Ilmu Budaya Jurusan Sastra Inggris USU, Medan 2. Irene Yhanna (kls 2 SMA Babussalam Pekanbaru) 3. Novalin Putri (kls 1 SMA Babussalam Pekanbaru.



Riwayat Pendidikan Perguruan Tinggi

Jenjang	Perguruan Tinggi	Tempat	Tahun Lulus	Bidang
S1	Universitas Riau	Pekanbaru, Riau	1987	Fisika
S2	Ball State University, (BSU)	Indiana, USA	1994	Fisika
S3	Salford University	England, UK	2004	Fisika

Pelatihan Profesional

Tahun	Pelatihan	Penyelenggara
1990	English Course	The British Institute, Bandung, Jawa Barat
1990	Kursus Toefl	Lembaga Bahasa IKIP Malang, Jawa Timur
1991	Advanced English Course	Colorado Institute, Colorado, USA
1994	Laboratory Equipment Training, Higher Education Development Support (HEDS) UNRI	FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru, 13-18 April 1994
1995	Equipment Training Techniques, Western University Training Center (WUTC)- Andalas University, Padang	Padang, West Sumatera 2-7 Oktober 1995
1996	Short Course in Electrodynamics Kerjasama BKS PTN Wilayah Barat	Universitas Bengkulu, Bengkulu
1997	Training on Laboratory management, kerjasama HEDS Project-JICA	Riau University, Pekanbaru
1999	Training for Physics Laboratory Equipments, Leybold, Germany 2-9 October 1999	Dusseldorf, Germany
2002	Short Course in Magneto Optical Kerr Effect	Intitute of Physics, England, UK
2003	Short Course in Transmission Electron Microscope	British Magnetic Society England, UK
2007	Fasilitator Koordinator Rintisan sekolah Bertaraf Internasional (SMA RSBI)	Cisarua, Bogor, Jawa Barat
2008	Fasilitator Koordinator Rintisan sekolah Bertaraf Internasional (SMA RSBI)	Jogyakarta
2008	Training untuk Pembina Olimpiade Sain Nasional (OSN) 9-12 Novemver 2008	Jogyakarta
2009	Training untuk Pembina Olimpiade Sain Nasional (OSN) 2-6 Maret 2009	Bandung, Jawa Barat
2009	Fasilitator Koordinator Rintisan sekolah Bertaraf Internasional (SMA RSBI)	Jakarta



	Bertaraf Internasional (SMA RSBI)	
2011	Kantor Urusan Internasional (KUI)	Bogor

Pengalaman Jabatan

Tahun	Jabatan	Institusi
1992-1994	Teaching Assistance for Fundamental Physics	Department of Physics BSU, Indiana USA
1995 -1998	Sekretaris jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau Pekanbaru	Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau
1999-2003	Laboratory Assistance for Under Graduate Program, Salford University	Salford University, England, UK
2005 – 2007	Anggota Senat FMIPA Universitas Riau Pekanbaru	FMIPA Universitas Riau
2006 – 2009	Sekretaris Outreach Program IMHERE Project Universitas Riau	Universitas Riau
2006 – Sekarang	Ketua Kelompok Minat Fisika Material Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau	Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau
2005 – 2007	Ketua Pengembangan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau	Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau
2006 -- 2007	Ketua pendirian Program non reguler Program S-1 jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau	Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau
2007-2008	Ketua Penerapam Teknologi Tepat Guna Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat (LPM) Universitas Riau	LPM Universitas Riau Pekanbaru
2006 – 2008	Sekretaris Satgas Due Project Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau	Universitas Riau
2008 – Sekarang	Anggota Senat FMIPA Universitas Riau Pekanbaru	FMIPA Universitas Riau
2008 – 2011	Anggota Senat Universitas Riau Pekanbaru	Universitas Riau
2007 - Sekarang	Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau	Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau
2010 – 2012	Ketua Outreach Program IMHERE Project Universitas Riau	Universitas Riau

Pengalaman Mengajar

Tahun	Mata Kuliah	Jenjang	Institusi/Jurusan/Program
2005 – 2005	Fisika Dasar I	S - I	Universitas Riau/ MIPA/ Kimia
2005 – 2005	Fisika Dasar II	S - I	Universitas Riau/ MIPA/ Kimia
		S - I	Universitas Riau/ MIPA/



			Matematika
2006 - 2007	Fisika Dasar II	S - 1	Universitas Riau/ MIPA/ Matematika
2005 - 2006	Mekanika Kuantum	S - 1	Universitas Riau/ MIPA/ Fisika
2005 - Sekarang	Fisika Matematika I	S - 1	Universitas Riau/ MIPA Fisika
2005 - Sekarang	Fisika Matematika II	S - 1	Universitas Riau/ MIPA/ Fisika
2007 - Sekarang	Medan elektromagnetik I	S - 1	Universitas Riau/ MIPA/ Fisika
2007 - Sekarang	Medan elektromagnetik II	S - 1	Universitas Riau/ MIPA Fisika
2007 - Sekarang	Kapita Selekt	S - 1	Universitas Riau/ MIPA Fisika
2006 - 2008	Fisika III	S - 1	Universitas Islam Riau/ FT/ Teknik Mesin
2007 - 2008	Fisika III	S - 1	Universitas Islam Riau/ FT/ Teknik Sipil
2008 - 2009	Fisika Kesehatan	D - 3	AKBID Payung Negeri
2005 - 2006	Fisika Umum	S - 1	Universitas Terbuka/ Pertanian
2007 - 2011	IPA SD	S - 1	Universitas Terbuka /PGSD
2010- Sekarang	Karakterisasi Material	S - 1	Universitas Riau/ MIPA Fisika

Pengalaman Penelitian

Tahun	Judul Penelitian	Sumber Dana
1986	Penentuan struktur Kristal Silikon dengan Menggunakan Metode Difraksi sinar-X	Mandiri
1993	Eigen Values and Eigen Functions of Electron in Quantum Nanochannel	USAID
1994	Electron Transport in a Nanochannel	USAID
1995	Eigen value dan Eigen Function dari elektron dalam kawat kuantum tanpa impuritas	HEDS Project
1996	Penentuan Eigen value dan Eigen Function dari elektron dalam kawat kuantum dengan impuritas	HEDS Project
1997	Perhitungan Konduktansi dari kawat kuantum dengan Bantuan Komputer	HEDS Project
1998	Konduktan dari nanochannel tanpa impuritas	Hibah Berbagai Bidang Ilmu (BBI) Dikti
2004	Magnetic and Microstructural Properties of cobalt samarium thin films and Multilayer	DUE Project



2007	Kajian Potensi Energi Alternatif Propinsi Riau : limbah kelapa sawit, angin, aliran air sungai dan pasang	Dinas Pertambangan dan Energi (Disstamben) Propinsi Riau
2007	Perhitungan Indeks Pembangunan Manusia kabupaten Rokan Hilir	Bappeda Kabupaten Rokan Hilir (Rohil)
2009	Pengembangan Sistem sensor penjejak panas Nirkabel Berbasis GIS Untuk pendeteksi Dini Kebakaran Hutan	DP2M DIKTI, Hibah Kompetitif Prioritas Nasional
2009	Pengembangan Lanjut Soil Moisture Sensor dengan Nural Network Untuk Mereduksi Faktor pengaruh Jenis Tanah	DP2M DIKTI, Hibah Kompetitif Penelitian Internasional
2010	Analisa Sifat Paramagnetik dari Material dengan Menggunakan Teknik Montecarlo	Mandiri
2010	Penerapan Metode Monte Carlo untuk Menganalisa Sifat Ferromagnetik Material	Mandiri
2011	Analisis Mikrostruktur dan Sifat Magnetik dari lapisan Tipis CoSm Sebagai Media Penyimpan	Hibah Penelitian Berbasis Laboratorium Universitas Riau
2012	Pengaruh Tekanan Sputtering terhadap Sifat Magnetik Lapisan Tipis CoSm	Hibah Penelitian Berbasis Laboratorium Universitas Riau

Karya Tulis Ilmiah

A. Buku/Jurnal

Tahun	Judul	Penerbit
1993	Eigen Values and Eigen Functions of Electron in Quantum Nanochannel	Proceeding Midwest Physical Society, Notre Dame – Indiana, USA
1994	Electron Transport in a Nanochannel	Proceeding American Physical Society, Pittsburg, USA
1997	Fisika Matematika I	DUE Project
2004	Effect of Annealing Temperature on Magnetic and Microstructural Properties of Co/Sm Multilayer Films	Prosiding Seminar UNRI – UKM ke 3
2004	Effect of Sputtering Pressure on magnetic properties of Co/Sm multilayer films	Prosiding Seminar UNRI – UKM ke 3
2005	Atomic/Magnetic Force Microscopy Studies of RE-TM Film Grown by dc Magnetron Sputtering	Komunikasi Fisika Indonesia, Vol.3 No 8 Th 2005
2006	Samarium Concentration dependence of the magnetic and microstructural properties of	Jurnal Natur Indonesia Wacana sains Indonesia



2006	High Resolution Transmission electron Microscopy Studies of CoSm Films grown on Cr underlayer	Prosiding Seminar Unri-UKM ke 4, 2006
2006	Effect of sputtering Power on Magnetic and Microstructural properties of RE-TM metal	Prosiding Seminar Unri-UKM ke 4, 2006
2008	Magnetic and Structural Properties of rare earth transition metal multilayer films	Prosiding Seminar Unri-UKM ke 5, 2008
2010	Role of Cr underlayer in the magnetic and microstructural of rare earth transition metal thin films	Komunikasi Fisika Indonesia, Vol.8 No 1 Th 2010
2010	Studies on structural and magnetic properties in Co/Sm Multilayer	Jurnal Natur Indonesia Wacana Sains Indonesia Volume 13, No 1, 2010
2012	Estimation of Coupling Parameters for Auto-Motorized Fabrication of Fused Fiber Coupler	Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 54 No 3, August 2012

B. Makalah/Poster

Tahun	Judul	Penyelenggara
1993	Quantum Mechanics of Nanochannel	Midwest Physical Society conference, Notre Dame, Indiana, USA
1994	Electronic Conductance of Quantum Wire	Midwest Physical Society Conference, Terre Haute, Indiana, USA
2001	The Effect of Cr Underlayer on magnetic properties of $\text{Co}_{86}\text{Sm}_{14}$ thin Films prepared by dc magnetron Sputtering	SPARC 2001 Salford University UK
2002	Dependence of magnetic properties on Layer thickness in CoSm films deposited on Nb Underlayer	SPARC 2002 Salford University, Salford, UK
2002	Transmission Electron Microscopy studies of CoSm Thin Films Prepared by dc magnetron sputtering technique	ISSM 2002 Berlin, Germany
2002	Magnetic and microstructural Properties of CoSm Thin films deposited on Zr Underlayer	ISSM 2002 Berlin, Germany
2005	Magnetic and Microstructural Properties of Sputter deposited CoSm multilayer Film	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Negeri Jambi, Jambi, Juli 2005
2006	Effect of Argon Gas Pressure on Magnetic properties of CoSm Films grown on Si(100) by dc magnetron sputtering	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Andalas, Padang Juli 2006
		BKS PT Wilayah Barat di



	Properties dependence on annealing temperature of Cobalt samarium Multilayer Films	Universitas Bengkulu, Bengkulu 13-14 Mei 2008
2008	Refleksi sinar-X sudut rendah dan sifat magnetic dari multi lapisan tipis dibuat melalui variasi tekanan sputtering	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Bengkulu, Bengkulu 13-14 Mei 2008
2008	Analisa reflektifitas sinar – X sudut rendah dan sifat magnetik dari multilapisan Tipis Cobalt samarium	Internatioanl semiar, 14 -16 Oktober 2008 UNG, Gorontalo
2009	Paramagnetic Properties Analysis of material using Monte Carlo Technique	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 4-5 Mei 2009
2009	Interaction Effect (ΔM) of as Deposited Cobalt samarium Multilayer Films	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 4-5 Mei 2009
2010	Pengembangan Sistem sensor penjejak panas Nirkabel Berbasis GIS Untuk pendeteksi Dini Kebakaran Hutan	Seminar Nasional Fisika 2 di UNAIR 17 Juli 2010
2010	Pengaruh Kekasaran permukaan pada sifat magnetik dari Lapisan Tipis Rare Earth- Metal Transisi (RE-TM)	Seminar Nasional Fisika 2 di UNAIR, Surabaya 17 Juli 2010
2010	The effect of heat treatments on cobalt-samarium multilayer films	Seminar Fisika Internasional di UNS, Solo 14 Juli 2010
2012	Modeling of Coupling Parameters of Directional Fiber Coupler Based on Degree of Fusion	International Conference on Enabling Science and nanotechnology 2012 (EsciNano), 5-7 January 2012 Persada Johor International Convention Center, Johor Bahru, Malaysia

Peserta Konferensi/Seminar/Lokakarya/Simposium

Tahun	Judul Kegiatan	Penyelenggara
1991	Mid Winter Seminar, Sacramento, California	Sacramento, California, USA
1992	Conference on Quantum Chromodynamics, Swain Hall Indiana Univerity	University of Indiana, Indiana, USA
1992	Conference on Low Dimensional Physics, Purdue University. West Lafavette	Purdue, Indiana, USA
		Midwest Physical Society



	Midwest Physical Society Conference	Conference, Notre Dame, Indiana, USA
1994	Midwest Physical Society Conference	Midwest Physical Society Conference, Terre Haute, Indiana, USA
1994	American Physical Society Conference	APS, Pittsburgh, USA
1995	Western University training Center Conference	WUTC UNAND Padang, West Sumatera
1996	Symposium Bidang Elektromagnetik HEDS Project -JICA Japan	Universitas Bengkulu, Bengkulu
1999	British Magnetic Society Conference, York University	York, England, UK
2000	British Magnetic Society Conference, University of Wales	Wales, United Kingdom
2001	Indonesian Student Scientific Meeting, European Chapter, UMIST, Manchester	ISSM, Manchester, UK
2001	Salford Post Graduate Conference	SPARC 2001 Salford University UK
2002	Salford Post Graduate Conference	SPARC 2002 Salford University, Salford, UK
2002	Indonesian Student Scientific Meeting, European Chapter	ISSM 2002 Berlin, Germany
2004	Seminar bersama Faculty of Science UKM Malaysia ke-3	FMIPA Universitas Riau Pekanbaru , tanggal 11-13 Agustus 2004, Pekanbaru
2004	Seminar Nasional: Simposium Fisika Nasional (HFI) ke-XX di Pekanbaru	Universitas Riau Pekanbaru tanggal 25-26 Agustus 2004
2005	Seminar Fisika Nasional ke 21, Universitas Riau, Pekanbaru	Himpunan Fisikawan Indonesia (HFI) Pusat di Pekanbaru
2005	Seminar Nasional dan Rapat Tahunan BKS PT Wilayah Barat Bidang MIPA	BKS PT Wilayah Barat di Universitas negeri Jambi, Jambi, Juli 2005
2006	Seminar Nasional dan Rapat Tahunan BKS PT Wilayah Barat Bidang MIPA	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Andalas, Padang Juli 2006
2006	Seminar Universiti Kebangsaan Malaysia - UNRI Ke 4, 2006	FTS UKM Kuala Lumpur, Malaysia
2007	Seminar Nasional dan Rapat Tahunan BKS PT Wilayah Barat Bidang MIPA	BKS PT Wilayah Barat di UIN syarif Hidayatullah, Jakarta Juli 2007
2008	Seminar Berasama Universiti Kebangsaan Malaysia - UNRI Ke 5, 19-20 Agustus 2008	Universitas Riau Pekanbaru
2008	Seminar Nasional dan Rapat Tahunan BKS PT	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Bengkulu,



		Bengkulu 13-14 Mei 2008
2008	International conference on Advanced material	Internatioanl Seminar, 14 -16 Oktober 2008 UNG, Gorontalo
2009	Paramagnetic Properties Analysis of material using Monte Carlo Technique	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 4-5 Mei 2009
2009	Seminar Nasional dan rapat tahunan BKS PT wilayah Barat Bidang MIPA	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 4-5 Mei 2009
2010	Seminar Nasional dan Rapat Tahunan BKS PT Wilayah Barat Bidang MIPA	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Riau, Pekanbaru 10-11 Mei 2010
2010	Seminar Nasional Fisika 2 : Peran fisika dan terapannya sebagai Modal Pengembangan kemandirian Bangsa di bidang Industri dan kedokteran	Seminar Nasional Fisika 2 di UNAIR 17 Juli 2010
2010	Seminar Bersama Universiti Kebangsaan Malaysia – UNRI Ke 6, 5-6 Juli 2010	University Kebangsaan Malaysia (UKM) Kuala Lumpur, Malaysia
2010	International Conference on Physics and Its applications for Environmentallly Friendly technology and disaster management	Seminar Fisika Internasional di UNS, Solo 14 Juli 2010
2010	Wisdom	UGM, Jogjakarta
2011	Seminar Nasional dan Rapat Tahunan BKS PT Wilayah Barat Bidang MIPA	BKS PT Wilayah Barat di UNLAM, Banjarmasin 8-10 Mei 2011
2011	Pembicara Utama Bidang Pendidikan : Evaluasi Dua Tahun Kepemimpinan Bupati Kabupaten Kerinci	Pemda Kabupaten Kerinci, Jambi, 3-4 Juni 2011
2011	Kantor Urusan Internasional (KUI) Universitas Riau	Bogor, Jawa Barat
2012	Seminar Nasional dan Rapat Tahunan BKS PT Wilayah Barat Bidang MIPA	BKS PT Wilayah Barat di Universitas Negeri Medan, Medan 24-25 Mei 2012
2012	International Conference on Enabling Science and nanotechnology 2012 (EsciNano),	Persada Johor International Convention Center, Johor Bahru, Malaysia 5-7 January 2012
2012	Seminar Berasama Universiti Kebangsaan Malaysia – UNRI Ke 7	FMIPA Universitas Riau Pekanbaru, 8-10 Oktober 2012
2012	Pembicara Utama pada Seminar Sehari Pendidikan di Kota Sungai Penuh- Kerinci, Jambi Permasalahan dan solusinya	Pemda Sungai Penuh Kerinci-Jambi, Februari 2012



Kegiatan Profesional/ Pengabdian Kepada Masyarakat

Tahun	Judul Kegiatan	Penyelenggara
2005	Sebagai Leader untuk Tim Indonesia C pada APHO ke-5 (Olimpiade Fisika Asia)	Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia
2005	Pembinaan dan pelatihan Guru bidang studi fisika tingkat SLTP dan SLTA Se Kecamatan XIII Koto Kampar	Tim pengabdian Pada Masyarakat Jurusan fisika FMIPA Universitas Riau
2006	Pembinaan dan Pelatihan Guru Bidang studi fisika tingkat SLTA se Kota Pekanbaru	Tim pengabdian Pada Masyarakat Jurusan fisika FMIPA Universitas Riau
2006	Optimalisasi penggunaan Peralatan Laboratorium sains Tingkat SLTP dan SD Sekecamatan XIII Koto Kampar Bagian Utara	Tim pengabdian Pada Masyarakat Jurusan fisika FMIPA Universitas Riau
2006	Pelatihan dan Workshop manajemen dan Pengaktifan alat labor Fisika SMP swasta se Pekanbaru	Tim pengabdian Pada Masyarakat Jurusan fisika FMIPA Universitas Riau
2007	Pelatihan manajemen Laboratorium bagi guru SMP swasta se Pekanbaru	Tim pengabdian Pada Masyarakat Jurusan fisika FMIPA Universitas Riau
2007	Promosi Universitas Riau untuk Siswa tingkat akhir SMA Air Molek, Sungai Apit dan Bagan Siapi-api, April - Juni 2007	Tim Outreach Program, Universitas Riau, Indonesia Managing Higher Education and Relevance (IMHERE)
2008	Ketua Tim FMIPA dalam Rangka Seminar BKS PT Wilayah Barat di Universitas Bengkulu (UNIB)	Universitas Bengkulu, Bengkulu 13-14 Mei 2008
2008	Nara Sumber pada Acara Dialog Khusus di Riau TV dengan topik: Indonesia Managing Higher Education and Relevance	IMHERE Universitas Riau
2008	Pelatihan Penggunaan KIT IPA SD se Kabupaten Kampar	Tim pengabdian Pada Masyarakat Jurusan fisika FMIPA Universitas Riau
2009	Pelatihan penggunaan KIT IPA SD se kecamatan Mandau dan Pinggir, Duri, Bengkalis	Tim pengabdian Pada Masyarakat Jurusan fisika FMIPA Universitas Riau
2010	Koordinator Dewan Juri pada Olimpiade Nasional Perguruan Tinggi (ON-PT) Se Riau	Pertamina – Universitas Indonesia
2011	Optimalisasi Penggunaan Alat Peraga Kelistrikan dan Mekanika Bagi Guru-Guru IPA SD Se Kabupaten Bengkalis	Tim pengabdian Pada Masyarakat Jurusan fisika FMIPA Universitas Riau
2011	Koordinator Dewan Juri pada Olimpiade Nasional Perguruan Tinggi (ON-PT) Se	Pertamina – Universitas Indonesia



2012	Optimalisasi Penggunaan Alat Peraga Kelistrikan dan Mekanika Bagi Guru-Guru IPA SD Se Kecamatan Rambah, Rohul	Tim pengabdian Pada Masyarakat Jurusan fisika FMIPA Universitas Riau
2012	Koordinator Dewan Juri pada Olimpiade Nasional Perguruan Tinggi (ON-PT) Se Riau	Pertamina – Universitas Indonesia

Memberi Training

Tahun	Judul Kegiatan	Penyelenggara
2005	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Propinsi Riau Pekanbaru, Maret – Mei 2005	Diknas Propinsi Riau
2005	Koordinator Fasilitator Sekolah Bertaraf Internasional (RSBI) SMP Babussalam Pekanbaru	Departemen Pendidikan Nasional –DIKMENUM
2006	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Propinsi Riau Pekanbaru, Maret – Mei 2005	Diknas Propinsi Riau
2006	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Kabupaten Siak Propinsi Riau, April 2006	Dispora Kabupaten Siak
2006	Koordinator Fasilitator Sekolah Bertaraf Internasional (RSBI) SMA Babussalam Pekanbaru	Departemen Pendidikan Nasional –DIKMENUM
2007	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Kabupaten Rokan Hulu Propinsi Riau, Mei 2007	Dispora Kabupaten Rokan Hulu
2007	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Kabupaten Siak Propinsi Riau, June-July 2007	Dispora Kabupaten Siak
2007	Seminar Peningkatan Mutu Pembelajaran Fisika Untuk guru-Guru SLTA Se Propinsi Riau, 16 Mei 2007	Diknas Propinsi Riau-Chevron – Unri
2007	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Propinsi Riau Pekanbaru, August 2007	Diknas Propinsi Riau
2007	Pelatihan Peningkatan Kualitas Guru Inti Pelajaran Fisika bagi Guru-Guru SMA Se Kabupaten Rokan Hulu	Dispora Kab. Rohul FMIPA UNRI
2008	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Kabupaten Siak Propinsi Riau, June-July 2008	Dispora Kabupaten Siak
2008	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Propinsi Riau Pekanbaru, August 2008	Diknas Propinsi Riau
2008	Pelatihan Penguasaan Fisika bagi Guru SMA se Kabupaten Rokan Hilir	Dispora Kab. Rohil –FMIPA UNRI



2009	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Kabupaten Siak Propinsi Riau, June-July 2009	Dispora Kabupaten Siak
2009	Pelatihan OSN Bidang Fisika dan Astronomi SMA Propinsi Riau Pekanbaru, August 2009	Diknas Propinsi Riau
2009	Koordinator Fasilitator Sekolah Bertaraf Internasional (RSBI) SMA Negeri 1 Bangkinang	Departemen Pendidikan Nasional -DIKMENUM
2009	Koordinator Fasilitator Sekolah Bertaraf Internasional (RSBI) SMP Negeri 1 Bangkinang	Departemen Pendidikan Nasional -DIKMENUM
2010	Instruktur pada Pelatihan AMDAL Tingkat Propinsi Riau Bidang Getaran dan Kebisingan	Lingkungan Hidup Propinsi Riau-Universitas Riau
2011	Instruktur pada Pelatihan AMDAL Tingkat Propinsi Riau Bidang Getaran dan Kebisingan	Lingkungan Hidup Propinsi Riau-Universitas Riau
2012	Instruktur pada Pelatihan AMDAL Tingkat Propinsi Riau Bidang Getaran dan Kebisingan	Lingkungan Hidup Propinsi Riau-Universitas Riau
2012	Pelatihan Olimpiade Sains Nasional Bidang Fisika dan Astronomi SMA Yayasan Pendidikan Cendana (YPC) Rumbai dan Duri Propinsi Riau Januari – Maret 2012	Kerja sama YPC- CHEVRON RUMBAI dan FMIPA UR

Dewan Editor/Reviewer

Tahun	Nama Jurnal	Institusi
2005- 2009	Jurnal Natur Indonesia, Lembaga Penelitian Universitas Riau	Lembaga Penelitian Universitas Riau
2005 -2009	Jurnal Media Informasi dan komunikasi Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Riau	Lembaga Penelitian Universitas Riau
2008-Sekarang	Jurnal Geliga FKIP UNRI	FKIP Universitas Riau
2008 – Sekarang	Jurnal Fisika : Simetry , BKS PTN Wilayah Barat	Badan Kerjasama Perguruan Tinggi Negeri Wilayah Barat, UNSRI
2013-Sekarang	Jurnal JTAF	FMIPA UNILA, Bandar Lampung

Penghargaan/Piagam/Prestasi

Tahun	Judul Kegiatan	Penyelenggara
1997	Pamuncak FMIPA pada Acara Wisuda	Universitas Riau



1995	Dosen Teladan I (Satu) Tingkat FMIPA Universitas Riau	Universitas Riau
1995	Dosen Teladan II (Dua) tingkat Universitas Riau	Universitas Riau
1996	Dosen Peneliti Terbaik (DSF) HEDS Project	HEDS-JICA
1998	Penerima Research Grant BBI DIKTI	Dirjen Pendidikan Tinggi
2009	Penerima Research Grant DP2M DIKTI, Hibah Kompetitif Prioritas Nasional	DP2M DIKTI, Hibah Kompetitif Prioritas Nasional

Organisasi Profesi/Ilmiah

Tahun	Organisasi	Jabatan
1989 - Sekarang	Himpunan Ahli Fisika Indonesia (HFI)	Anggota
1991 - 1996	American Physical Society (APS)	Anggota
1998 - 2007	Institute of Physics (IOP)	Anggota

Organisasi Non Profesi

Tahun	Organisasi	Jabatan
2009- Sekarang	Himpunan Keluarga Kerinci - Jambi (HKK) Riau	Ketua Umum
2006-2008	Pengurus DPW Muhammadiyah Propinsi Riau (Lembaga hikmah)	Wakil Ketua
2013-sekarang	Dewan Pakar Masyarakat Peduli Kerinci (MPK) Indonesia	Sekretaris

Pekanbaru, 28 Maret 2013

Prof. Dr. H. Erwin, M.Sc
NIP. 19620810 198810 1 002

