

VIBRATING SAMPLE MAGNETOMETER (VSM) TIPE OXFORD VSM1.2H

Mujamilah, Ridwan, M. Refai Muslich, Setyo Purwanto, M.I. Maya Febri,
Yohannes, A.M, Eddy Santoso, Herry Mugirahardjo
Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN

S 46

ABSTRAK

VIBRATING SAMPLE MAGNETOMETER (VSM) tipe OXFORD VSM1.2H. Seperangkat fasilitas pengukuran sifat magnetik bahan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) tipe OXFORD VSM1.2H telah selesai dipasang dan diuji coba baru-baru ini di Laboratorium Magnetik-BZM-P3IB, BATAN. Laporan ini membahas tentang prinsip kerja, spesifikasi dan karakteristik peralatan serta hasil uji coba yang telah dilakukan. Hasil uji coba menunjukkan kemampuan peralatan yang baik dalam mengukur magnetisasi bahan sebagai fungsi medan luar (kurva histeresis) untuk cuplikan uji yang berbentuk padatan dan lapisan tipis, dan dalam mengukur magnetisasi bahan sebagai fungsi suhu pada rentang suhu (100 – 300) K.

Kata Kunci : Magnetometer, magnetisasi bahan, kurva histeresis.

ABSTRACT

VIBRATING SAMPLE MAGNETOMETER (VSM) OXFORD VSM1.2H TYPE. A set of facility to measure magnetic properties of materials, i.e. a Vibrating Sample Magnetometer (VSM) model OXFORD VSM1.2H has been recently installed and tested in the Laboratory of Magnetic Materials in Solid State Division, R&D Center for Materials Research and Technology, BATAN. This paper reports the principle of the apparatus, its technical specification and some testing measurements. The testing results show that the apparatus performs correctly in measuring hysteresis curves of bulk and thin film samples, as well as in measuring magnetization versus temperature at the range of 100 – 300 K.

Key Word : Magnetometer, magnetization, hysteresis curved.

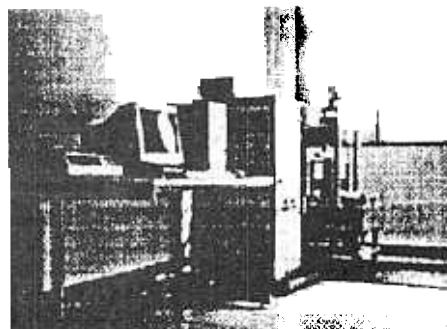
PENDAHULUAN

Pada saat ini di laboratorium Magnetik-Bidang Zat Mampat – P₃IB – BATAN telah terpasang alat *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*, tipe OXFORD VSM1.2H (lihat Gambar 1.). Alat ini merupakan salah satu jenis peralatan yang digunakan untuk mempelajari sifat magnetik bahan. Dengan alat ini akan dapat diperoleh informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dalam kurva histeresis, sifat magnetik bahan sebagai akibat perubahan suhu, dan sifat-sifat magnetik sebagai fungsi sudut pengukuran atau kondisi anisotropik bahan. Prinsip kerja, spesifikasi alat, tahapan dan hasil pengukuran yang telah dilakukan akan dijelaskan dalam laporan ini.

PRINSIP KERJA DAN SPESIFIKASI ALAT

1. Prinsip Kerja Alat

Semua bahan mempunyai momen magnetik jika ditempatkan dalam medan magnetik. Momen magnetik per satuan volume dikenal sebagai magnetisasi. Secara prinsip ada dua metoda untuk mengukur besar



Gambar 1. Seperangkat *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* tipe OXFORD VSM1.2H.

magnetisasi ini, yaitu metoda induksi (*induction method*) dan metoda gaya (*force method*) [1]. Pada metoda induksi, magnetisasi diukur dari sinyal yang ditimbulkan/diinduksikan oleh cuplikan yang bergetar dalam lingkungan medan magnet pada sepasang kumparan.

Sedangkan pada metoda gaya pengukuran dilakukan pada besarnya gaya yang ditimbulkan pada cuplikan yang berada dalam gradien medan magnet. VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) adalah merupakan salah satu alat ukur magnetisasi yang bekerja berdasarkan metoda induksi [2].

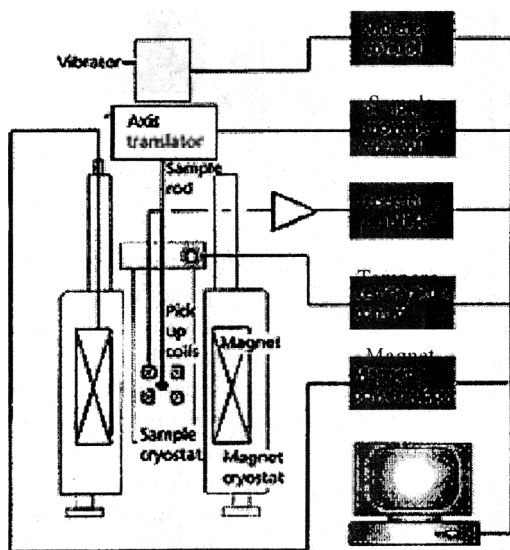
Pada metoda ini, cuplikan yang akan diukur magnetisasinya dipasang pada ujung bawah batang kaku yang bergetar secara vertikal dalam lingkungan medan magnet luar H. Jika cuplikan termagnetisasi, secara permanen ataupun sebagai respon dari adanya medan magnet luar, getaran ini akan mengakibatkan perubahan garis gaya magnetik. Perubahan ini akan menginduksikan/menimbulkan suatu sinyal tegangan AC pada kumparan pengambil (*pick-up coil* atau *sense coil*) yang ditempatkan secara tepat dalam sistem medan magnet ini. Dengan memakai hukum Biot-Savart untuk sistem medan dipol [2], tegangan induksi diberikan sebagai :

$$V \propto Afm G(x,y,z) \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- A : amplitudo getaran cuplikan,
- f : frekuensi getaran cuplikan,
- m : momen magnetik,
- $G(x,y,z)$: fungsi sensitivitas, yang enunjukkan adanya kebergantungan sinyal pada posisi cuplikan dalam sistem kumparan.

Selanjutnya sinyal AC ini akan dibaca oleh rangkaian *pre-amp* dan *Lock-in amplifier*. Frekuensi dari *Lock-in amplifier* diset sama dengan frekuensi getaran sinyal referensi dari pengontrol getaran cuplikan. *Lock-in amplifier* ini akan membaca sinyal tegangan dari kumparan yang sefasa dengan sinyal referensi. Kumparan pengambil biasanya dirangkai berpasangan dengan kondisi arah lilitan yang berlawanan. Hal ini untuk menghindari terbacanya sinyal yang berasal dari selain cuplikan, misalnya dari akibat adanya perubahan medan magnet luar itu sendiri. Selanjutnya dalam proses pengukuran, medan magnet luar yang diberikan, suhu cuplikan, sudut dan interval waktu pengukuran dapat divariasikan melalui kendali komputer. Komputer akan merekam data tegangan kumparan sebagai fungsi medan magnet luar, suhu, sudut ataupun waktu.



Gambar 2. Diagram blok seperangkat sistem OXFORD VSM1.2H.

2. Spesifikasi Alat

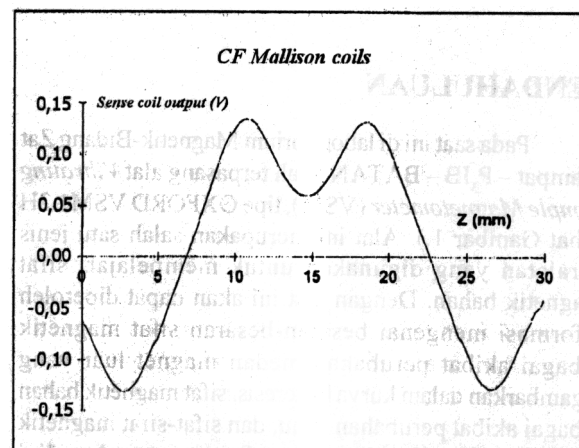
Diagram blok pada Gambar 2 berikut ini menggambarkan rangkaian sistem pada VSM tipe OXFORD VSM1.2H yang bekerja sesuai prinsip diatas [3]. Sedangkan spesifikasi bagian-bagian penyusun VSM ini diberikan pada Tabel 1[4].

TAHAPAN PENGUKURAN

1. Penentuan Posisi Cuplikan

Dari pembahasan tentang prinsip kerja alat diperoleh bahwa tegangan yang terinduksi pada kumparan akan bergantung pada posisi cuplikan yang digambarkan dengan fungsi sensitivitas $G(x,y,z)$. Untuk mendapatkan sinyal atau $G(x,y,z)$ yang optimum, maka cuplikan perlu ditempatkan pada posisi pusat kesetimbangan sistem kumparan.

Dalam VSM tipe OXFORD VSM1.2H ini kumparan didesain dengan model Mallinson 4 kumparan [4] dengan arah medan adalah horizontal dan tegak lurus pada arah getaran. Optimasi G pada arah x dan y telah dilakukan pada saat pemasangan peralatan dan pengesetan kumparan. Sedangkan optimasi dalam arah z perlu dilakukan pada setiap tahapan pengukuran. Untuk mendapatkan posisi optimum dalam arah z dilakukan pengukuran sinyal sebagai fungsi z. Kurva yang diperoleh berupa profil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Posisi optimum akan diberikan pada titik simetri pada kurva yaitu pada posisi A.



Gambar 3. Profil sinyal terinduksi pada kumparan model Mallinson 4 kumparan.

Untuk pengukuran cuplikan dengan kondisi sifat magnet bergantung sudut (anisotropik), optimasi posisi cuplikan terhadap sudut pengukuran juga perlu dilakukan, yaitu dengan memutar cuplikan pada sumbu putarnya atau mengukur sinyal sebagai fungsi sudut antara arah medan dan orientasi cuplikan.

Tabel 1. Spesifikasi VSM tipe OXFORD VSM1.2H.

Sistem Medan Magnet Luar	
Tipe	Electromagnet Horizontal,
Daerah kerja	-1 T – 1 T
Laju perubahan medan maksimum	50 Gauss/sec
Homogenitas	0,1%
Resolusi Medan	1 Gauss
Stabilitas Medan	1 Gauss
Sistem Perubah Suhu Lingkungan	
Tipe	Cryostat dengan aliran cryogen kontinu
Suhu operasi	(4,2 – 300) K (dengan pendingin He cair) (90 – 300) K (dengan pendingin N ₂ cair)
Stabilitas suhu	0,05 (4,2 – 77) K, 0,1 K (77 – 300)K
Perubahan suhu	10 K dalam 10 menit dengan 0,2 K lonjakan
Sistem Pengukuran	
Daerah pengukuran tegangan	(0,1 – 1000) mV
Konstan waktu pengukuran	1 msec – 10 sec
Sinyal Latar belakang	5×10^{-4} emu/T
Resolusi pengukuran	1×10^{-4} emu
Daerah penempatan cuplikan	20 mm
Akurasi penempatan cuplikan	0,005 mm
Rotasi cuplikan	720°
Amplitudo getaran	(0 – 1,5) mm
Frekuensi getaran	(40 – 80) Hz (untuk sistem ini frekuensi diset tetap pada 55 Hz)
Sistem Pengendali dan Pengolah Data	
Perangkat Keras	PC Pentium P5/166
Perangkat Lunak	OXFORD ObjectBench Software

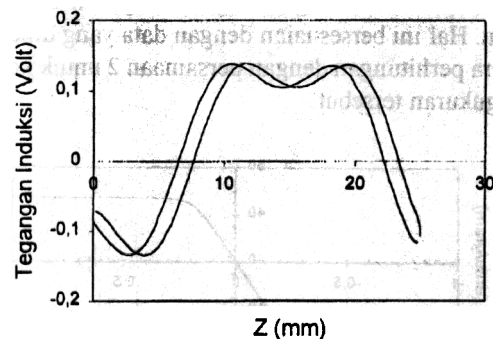
2. Kalibrasi

Dari pembahasan tentang prinsip dasar diperoleh bahwa, luaran pengukuran yang diperoleh adalah berupa data tegangan AC sebagai fungsi berbagai variabel (medan magnet luar, suhu, sudut, waktu). Dari persamaan 1 diperoleh bahwa data tegangan ini akan sebanding dengan harga momen magnetik/magnetisasi cuplikan. Untuk mengubah data tegangan ini menjadi data momen magnetik perlu dilakukan tahapan kalibrasi. Pada tahapan ini dilakukan pengukuran pada cuplikan standar yaitu cuplikan yang telah diketahui harga magnetisasinya dengan pasti, seperti Ni. Pengukuran dilakukan pada medan magnet luar cukup tinggi sehingga cuplikan standar dalam keadaan termagnetisasi jenuh. Data tegangan yang terukur pada posisi cuplikan optimum selanjutnya dibandingkan dengan data magnetisasi bahan standar tersebut. Untuk cuplikan standar Ni, data magnetisasi secara empiris dihitung berdasarkan persamaan [4] di bawah ini :

$$M = 55,25 - (T-294) * 0,028 + (H-1) * 0,11 \text{ emu/gram} \quad (2)$$

dengan : T : suhu pengukuran (dalam K) dan H : medan magnet luar (dalam Tesla).

Data tegangan hasil pengukuran cuplikan selanjutnya akan diubah secara otomatis menjadi harga momen magnetik dengan satuan *emu* (*electro magnetic unit*). Gambar 4 menunjukkan profil kurva penentuan posisi untuk kalibrasi dengan cuplikan standar, Ni ($m = 0,052$ gram) yang diukur pada suhu 297,2 K dan medan magnet luar 0,6 T. Besar tegangan yang terukur pada posisi optimum, C dengan $z = 15$ mm adalah 106,9 Volt. Dari data ini dilakukan proses kalibrasi.



Gambar4. Profil kurva V terhadap z untuk cuplikan standar N

3. Faktor Koreksi dan Analisis Data

Secara umum ketelitian hasil pengukuran dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran cuplikan, serta parameter pengukuran. Koreksi data yang berkaitan dengan bentuk dan ukuran cuplikan dilakukan dengan mengukur cuplikan sekecil mungkin, dibandingkan dengan dimensi kumparan untuk memenuhi pendekatan dipol yang digunakan pada asumsi prinsip kerja alat ini. Selain itu bentuknya juga seidentik mungkin dengan cuplikan standar yang digunakan.

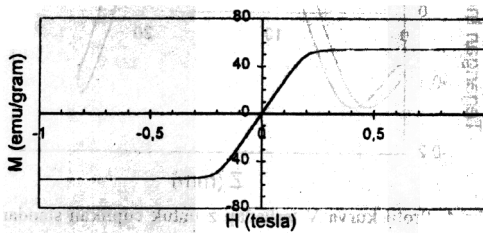
Untuk pengukuran histeresis (M terhadap H), data yang terukur adalah data magnetisasi sebagai fungsi medan magnet luar yang diberikan (*applied field*, H_a). Pada proses pengukuran bahan magnet permanen, akan timbul medan internal yang berlawanan dengan arah magnetisasi. Medan ini dikenal sebagai medan demagnetisasi. Besar medan ini akan bergantung pada bentuk/dimensi cuplikan serta medan luar yang diberikan [1,5]. Untuk itu data yang diperoleh harus dikoreksi

dengan medan demagnetisasi ini sehingga diperoleh medan efektif, $H_{\text{eff}} = H_a + H_d$ yang sebenarnya.

Selain ketepatan posisi cuplikan, parameter pengukuran yang berpengaruh dalam ketelitian data yang diperoleh adalah sensitivitas pengukuran tegangan, tetapan waktu pengukuran serta amplitudo getaran yang digunakan. Dua parameter pertama diatur dengan mengambil nilai batas yang mendekati/tidak terlalu jauh dari harga/kondisi terukur. Sedangkan amplitudo diset dengan mempertimbangkan persamaan 1, dimana makin kecil momen magnetik bahan yang akan terukur maka diambil nilai amplitudo yang lebih besar sehingga sinyal yang diperoleh lebih besar.

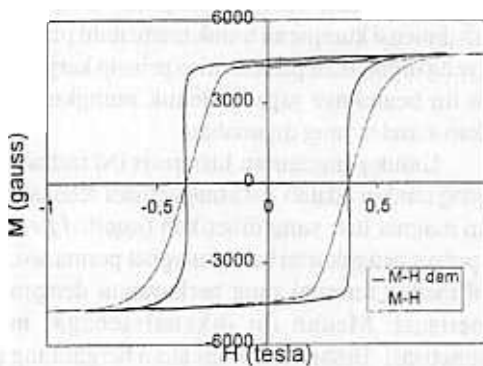
HASIL PENGUKURAN

Telah dilakukan berbagai pengukuran dengan alat ini meliputi kurva histeresis cuplikan standar Ni, cuplikan Fe berbentuk lapisan tipis, magnet permanen ferit padatan serta pengukuran M terhadap T cuplikan GMR (*Giant Magneto Resistance*). Gambar 5 menunjukkan kurva histeresis cuplikan Ni pada posisi optimumnya yang diukur pada suhu 293 K. Kurva histeresis dengan harga magnetisasi yang telah terkalibrasi menunjukkan bahwa Ni telah mencapai saturasi pada medan magnet luar sekitar 0,6 T, dengan magnetisasi jenuh 54,8 emu/gram. Hal ini bersesuaian dengan data yang diperoleh secara perhitungan dengan persamaan 2 untuk kondisi pengukuran tersebut.



Gambar 5. Kurva Histeresis cuplikan standar Ni.

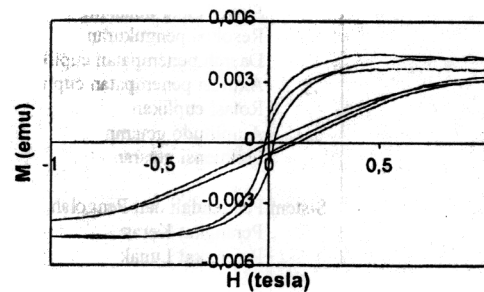
Hasil pengukuran pada cuplikan magnet ferit berbentuk empat persegi panjang, (p x l x t) : (2,61x3,60x1,83) mm³ sebelum dan sesudah dikoreksi



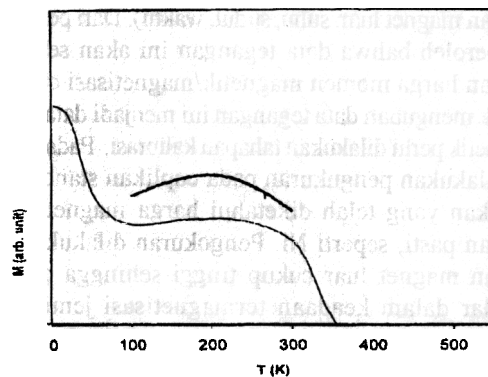
Gambar 6. Kurva histeresis cuplikan ferit sebelum dan sesudah koreksi faktor demagnetisasi.

dengan faktor demagnetisasi diperlihatkan pada Gambar 6. Harga magnetisasi telah diubah dalam satuan gauss.

Sedangkan pada Gambar 7, diperlihatkan kurva histeresis cuplikan lapisan tipis Fe yang disiapkan dengan metoda *RF-sputtering* [6]. Pengukuran dilakukan sejajar bidang dan tegak lurus bidang. Hasil pengukuran ini menunjukkan adanya anisotropi magnetik sejajar bidang lapisan tipis. Gambar 8 menunjukkan kurva magnetisasi sebagai fungsi suhu dari cuplikan GMR yang diukur pada medan luar 1 T. Pada gambar yang sama juga ditampilkan hasil pengukuran untuk cuplikan yang sama yang diukur dengan memakai alat ukur magnetik di *Institute for Materials Research (IMR), Tohoku University, Jepang*.



Gambar 7. Kurva Histeresis lapisan tipis Fe pada dua orientasi bidang yang berbeda, masing-masing searah medan magnet luar dan tegak lurus medan magnet luar.



Gambar 8. Kurva Magnetisasi sebagai fungsi suhu (M terhadap T) cuplikan GMR diukur memakai VSM OXFORD1.2H dan VSM di *IMR, Tohoku University, Jepang*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Fasilitas ini diadakan melalui pembiayaan DIP 1996/1999 dengan dukungan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. DR. Marsongkohadi, DR. Wuryanto, APU, Drs. Mawardi, M.Sc, Drs. W. Prasud dan seluruh staf proyek PTNPM-BATAN. Juga kepada staf BZM-BATAN, DR. Abarul Ikram dan staf ISN/BSN-BATAN atas dukungannya dalam proses pemasangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. PARKER, R.J, *Advances in permanent magnetism*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, (1990).
- [2]. Research Instruments, *Technical Bulletin - Vibrating Sample Magnetometry – Review of the technique*, Oxford Instruments, Scientific Research Division, dan pustaka yang diacu didalamnya.
- [3]. Research Instruments, *Technical Bulletin - Making Measurement with a VSM*, Oxford Instruments, Scientific Research Divisions.
- [4]. Research Instruments, *VSM Handbook and Manual*, Oxford Instruments, Scientific Research Divisions., dan pustaka yang diacu didalamnya .
- [5]. CULLITY, B.D, *Introduction to Magnetic Materials*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Massachusetts, (1972).
- [6]. DR. TRIMARJI ATMONO, akan dipublikasikan.

TANYA JAWAB

Penanya Hans K. Sudjono (P3FT-LIPI)

Pertanyaan :

1. Apakah pengujian pada suhu tinggi dengan furnace sudah dapat dilakukan ?.
2. Bagaimana bentuk dan dimensi sampel.?

Jawaban :

1. Pengujian pada suhu tinggi belum bisa dilakukan, karena VSM ini hanya dilengkapi sistem pendingin (cryostat) untuk pengukuran suhu rendah 412 K – 300 K tergantung cairan pendingin yang digunakan.
2. Sampel bisa berbentuk serbuk, bulk/pelet maupun thin film / lapisan tipis dengan dimensi $\phi \approx 2$ mm; $t \approx 1$ mm.

Penanya Ir. Siti Wardiyati

Pertanyaan :

Apakah ada alat lain untuk pengukuran besarnya medan magnet selain sistem vibrasi?

Jawaban :

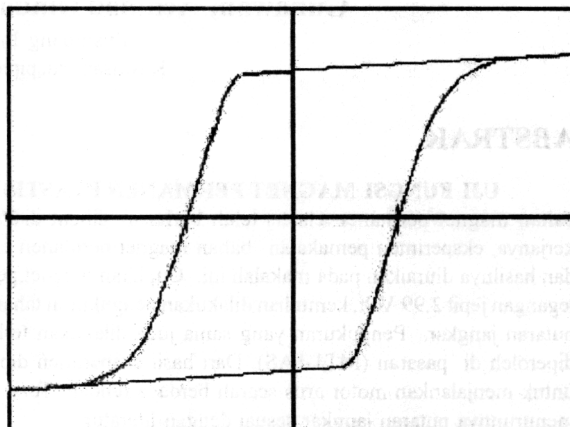
Untuk pengukuran besarnya momen magnet/sifat magnetik bahan ada 2 metode yaitu :

- Metoda vibrasi/induksi.
- Metoda gaya.

Penanya : Ela

Pertanyaan :

1. Apakah ada alat lain atau metode lain yang dapat digunakan ?.
2. Arti kurva histeresis bahan ?.



Gambar kurva histeresis bahan

Jawaban :

1. Sama dengan jawaban untuk pertanyaan dari Ir. Siti Wardiyati.
2. Gambar kurva histeresis bahan :
 M_s = Magnetisasi saturasi/jenuh,
 M_r = Magnetisasi remanen/sisa,
 H_c = Medan Koersiv,
 M_s = besar magnetisasi maksimal yang bisa dimiliki bahan,
 M_r = besar magnetisasi sisa setelah medan luar dihilangkan ($H_{ext} = 0$),
 H_c = besar medan luar yang diperlukan untuk menghilangkan magnetisasi sisa.

Penanya : Maya Febri

Pertanyaan :

1. Jenis tanah jarang yang dipakai?
2. Kegunaan produk yang dihasilkan?

Jawaban :

1. Tb, Dy, Sm, Ho; namun yang paling banyak dipakai adalah Tb dan Dy,
2. Sebagai komponen transduser, motor kecil, penghasil gelombang ultrason.