

## **PENGUJIAN KARAKTERISTIK DETEKTOR KOIL PADA MAGNET BATANG KENDALI REAKTOR**

**B.Bandriyana, Y.B. Sitandung**

Pusat Pengembangan Sistem Reaktor (P2SRM)-BATAN

### **ABSTRAK**

**PENGUJIAN KARAKTERISTIK DETEKTOR KOIL PADA MAGNET BATANG KENDALI REAKTOR.** Deteksi posisi magnet dengan jangkar dalam batang kendali reaktor diperlukan untuk menunjang operasi reaktor nuklir. Suatu sistem detektor koil yang dirakit dalam batang magnet digunakan untuk mendeteksi posisi magnet batang kendali berdasarkan prinsip perbedaan arus induksi. Detektor koil terdiri dari keping besi paduan N-50 yang dililiti kawat besi sebanyak 1100 lilitan dan dihubungkan dengan rangkaian osilator. Pengujian detektor koil dilakukan dengan menentukan kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan tegangan luaran sebagai fungsi arus magnet. Hasil pengujian menunjukkan, detektor koil dengan osilator 10V, 200 KHz memenuhi persyaratan desain dengan beda tegangan relatif diatas 30 % pada arus magnet 0,4 sampai dengan 0,6 A. Rangkaian osilator merupakan faktor yang bisa dimodifikasi untuk menghasilkan karakteristik sistem detektor koil pada desain magnet batang kendali.

### **ABSTRACT**

**CHARACTERISTIC TEST OF THE COIL DETECTOR ON THE MAGNET FOR REACTOR CONTROL ROD.** Detection of the magnet and armature of the reactor control rod was needed to support the nuclear reactor operation. A coil detector system was assembled in the reactor magnet yoke and used to detect the magnet position based on the difference of inductance current. The coil detector consists of a piece of iron alloy (N-50) with 1100 turn of iron wire and connected with an oscilator system. Testing of the coil detector was performed to determine the characteristic curve which showed the relation between the output voltage and the magnetic current. The result of testing showed that the coil detector with oscilator 10 V, 200 KHz meet the design requirement with the relative voltage difference of up to 30% in the magnet current from 0.4 to 0.6 A. The circuit of oscilator was a significant factor which can be modified to determine the characteristic system of the detector magnet system.

## PENDAHULUAN

Magnet batang kendali merupakan komponen pokok dalam sistem penggerak batang kendali reaktor nuklir yang berfungsi mengatur posisi batang kendali dan melakukan *scram* reaktor. Posisi batang kendali diperlukan untuk mengatur daya reaktor sedangkan *scram* reaktor yang dilakukan dengan melepas terhubungnya magnet dengan jangkar merupakan bagian pokok untuk menjamin keselamatan operasi reaktor. Untuk menunjang keberhasilan operasi reaktor diperlukan sistem untuk mendeteksi posisi terhubung atau posisi terlepas dari magnet dan jangkar. Untuk deteksi ini dalam reaktor riset banyak digunakan komponen saklar mekanik yang dipasang pada sistem penggerak batang kendali. Sistem saklar ini mempunyai kelemahan karena saklar mudah rusak akibat aus atau posisi penyetelan yang mudah berubah sehingga deteksi tidak dapat dilakukan dengan baik. Sistem detektor koil digunakan untuk meningkatkan keandalan dalam deteksi, khususnya untuk penggerak batang kendali reaktor yang berada pada daerah radiasi. Sistem ini sudah dipergunakan di reaktor riset Jepang, JRR 3 dengan keandalan tinggi. Keandalan dari sistem koil detektor ini sangat dipengaruhi oleh besaran operasi, dimensi dan bahan dari komponen detektor sehingga mutlak diperlukan pengujian sebelum digunakan di reaktor. Pengujian karakteristik dan unjuk kerja detektor koil akan memberikan batasan dan pengaturan dalam operasi dan penentuan sistem instrumentasinya. Melalui pengujian ini dapat pula dikembangkan analisis dan evaluasi yang sangat berguna untuk modifikasi dan desain komponen sistem penggerak batang kendali reaktor

Sistem detektor koil merupakan sistem yang banyak digunakan pada batang kendali reaktor riset di Jepang dan memiliki keandalan yang sangat tinggi. Prinsip kerja dari detektor koil menggunakan perbedaan fluks magnet yang timbul saat magnet dalam kondisi tersambung dan kondisi magnet terpisah dengan jangkar. Perbedaan fluks akibat perbedaan media antara udara dan jangkar akan menimbulkan perbedaan arus induksi yang kemudian dapat diperkuat dan ditampilkan (*display*) dengan sistem osilator dan sistem instrumentasi. Untuk pengujian karakteristik sistem dilakukan pengujian rentang operasi yang ditunjukkan dengan kurva karakteristik alat.

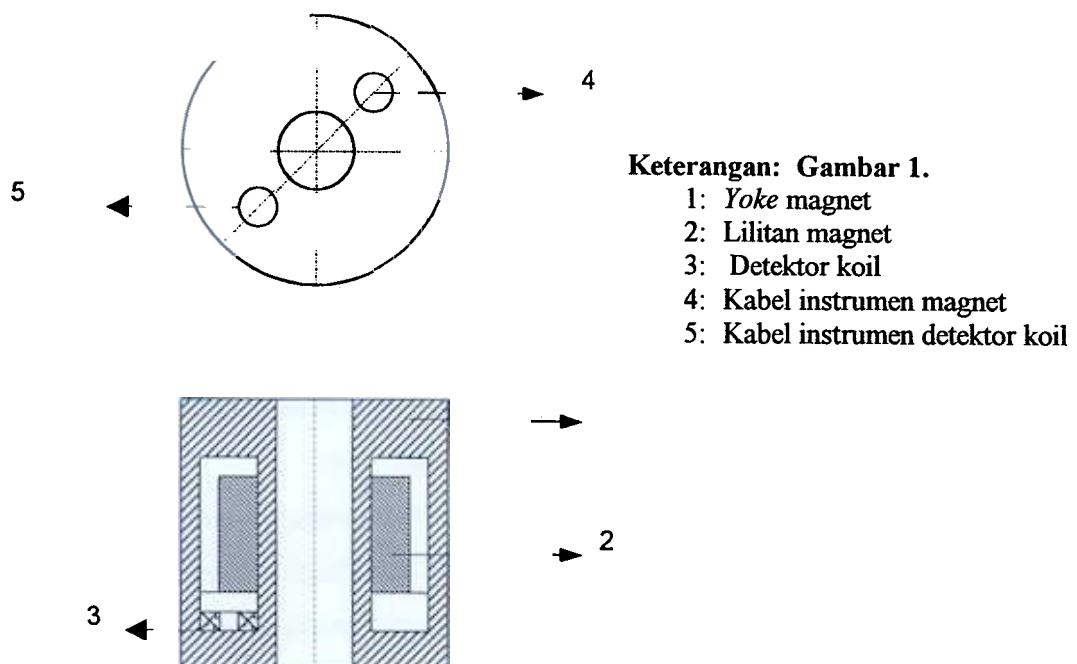
Dalam makalah ini dibahas desain dasar dan pengujian sistem detektor koil serta analisis dan evaluasinya. Sistem detektor koil, dan rangkaian instrumentasi yang diuji adalah salah satu detektor koil yang didesain untuk reaktor riset di Jepang. Pengujian dilakukan di fasilitas uji komponen di reaktor riset JRR-3 (*Japan Research Reactor-3*) dengan menggunakan magnet baru yang akan dipasang untuk penggantian magnet

batang kendali yang telah mencapai umur operasi. Evaluasi dilakukan dengan mengukur rentang operasi yang dihasilkan pada kurva karakteristik, dan mengkaji dengan desain karakteristik instrumentasi. Keandalan alat dan hubungannya dengan spesifikasi desain dan bahan yang digunakan, dievaluasi berdasarkan hasil pengujian dan pengalaman di lapangan.

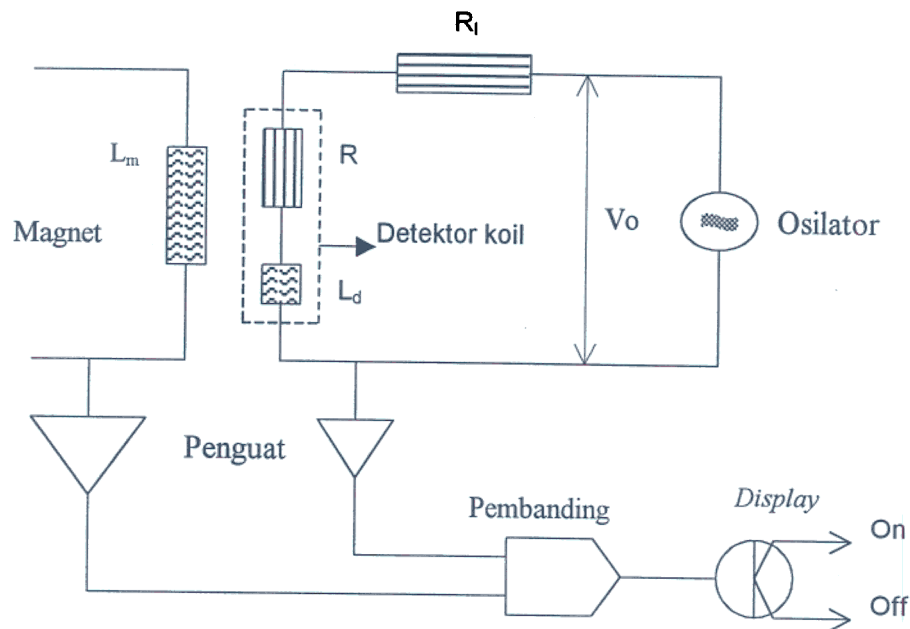
### SPESIFIKASI DESAIN DAN PRINSIP KERJA

Secara garis besar spesifikasi desain beserta bagian pokok dari detektor koil pada magnet batang kendali ditunjukkan pada Gambar 1. Spesifikasi teknik keping detektor ini, baik dimensi maupun bahan ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain: besarnya arus magnet, desain osilator baik tegangan maupun frekuensi osilator. Bahan yang digunakan untuk koil detektor adalah bahan untuk menghasilkan arus induksi akibat medan magnet. Spesifikasi teknis detektor koil dan magnet disajikan dalam Tabel

Prinsip kerja dari detektor koil dalam magnet batang kendali dapat dijelaskan sebagai berikut. Kemagnetan terjadi karena sumber arus elektromagnet yang mengalir dalam lilitan magnet. Motor penggerak berputar untuk menggerakkan magnet yang tersambung dalam mur dan batang berulir. Untuk kondisi magnet tersambung dengan jangkar yang dirakit menjadi satu bagian dengan batang kendali, gerakan magnet menentukan posisi batang kendali dalam teras atau menentukan daya operasi reaktor.



Gambar 1. Skema magnet dan detektor koil



**Gambar 2. Skema rangkaian elektronik magnet dan detektor koil**

Keterangan Gambar 2:

- $L_m$  : Induktansi magnet
- $R_l$  : Tahanan luar
- $V_o$  : Tegangan luaran
- $R$  : Tahanan detektor magnet
- $L_d$  : Induktans detektor magnet

Pelepasan batang kendali secara mendadak yang mengakibatkan reaktor *scram*, dapat dilakukan dengan pemutusan arus magnet yang menyebabkan hilangnya sifat kemagnetan.

Akibat adanya sifat magnet maka timbul medan magnet diantara magnet dan jangkar. Medan magnet yang timbul akan menyebabkan terjadinya arus induksi pada detektor koil. Besarnya medan magnet yang timbul akan bergantung pada media diantara magnet dan jangkar. Pada saat magnet terpisah dengan jangkar media diantaranya adalah udara sedangkan saat magnet tersambung dengan jangkar media diantaranya adalah besi. Dengan demikian akan diperoleh medan magnet dan arus induksi yang berbeda pada detektor koil untuk kondisi magnet terpisah dan kondisi magnet tersambung dengan jangkar. Perbedaan arus yang timbul diolah dengan rangkaian osilator dan sistem penguat beserta instrumentasi lainnya sehingga

menghasilkan penunjukan posisi magnet, yaitu kondisi tersambung atau terlepas dengan jangkar. Posisi tersambung atau terlepasnya magnet dengan jangkar, dimonitor dan ditampilkan dalam layar di ruang kontrol operasi.

**Tabel 1. Spesifikasi teknis dari detektor koil dan magnet**

Dimensi magnet dan komponen:		
Komponen	Ukuran	Bahan
Yoke/ magnet	$\phi = 100$ mm, tinggi = 170 mm	Besi N-50
Koil magnet	$\phi = 0,25$ mm	Besi N-50
Koil detektor	$\phi = 0,25$ mm	Besi N-50 dan TMH
Jangkar	$\phi = 100$ mm, tinggi = 30 mm	SUS 304
Besaran fisis magnet:		
Arus magnet maksimum	:	1,0 A - DC
Tegangan	:	5,5 Volt DC
Tahanan	:	4,2 Ohm
Isolasi	:	> 500 M Ohm
Induksi	:	0,5 H pada 50 Hz
Medan magnet	:	14 – 15 Gauss
Jumlah lilitan	:	690 lilitan
Berat magnet/ yoke	:	3,5 Kg
Gaya magnet	:	50 – 100 Kg
Besaran fisis koil detektor:		
Tahanan	:	95 Ohm
Isolasi	:	> 500 M Ohm
Induksi	:	0,25 H , 50 Hz
Jumlah lilitan	:	1100 lilitan N-50

## TATA KERJA PENGUJIAN

Pengujian karakteristik dan unjuk kerja detektor koil dilakukan berdasarkan rangkaian elektronik yang secara garis besar ditunjukkan dalam Gambar 2. Karakteristik alat ditentukan dengan rentang operasi, yang dinyatakan dalam perbedaan besarnya nilai tegangan luaran (V) pada kondisi magnet terhubung dengan jangkar dan kondisi magnet

terpisah dengan jangkar. Secara matematis dalam pengujian didefinisikan beda tegangan relatif, yaitu:

$$V_r = (V_{\text{off}} - V_{\text{on}}) / V_{\text{off}} \times 100 \%,$$

dimana

- $V_r$  beda tegangan relatif
- $V_{\text{off}}$  tegangan luaran (V) saat magnet dan jangkar terpisah, diukur saat akan terjadi penggabungan pada jarak minimum.
- $V_{\text{o}}$  tegangan luaran (V) saat magnet dan jangkar terhubung.

Berdasarkan uraian di atas, maka alur pengujian dilakukan sebagai berikut:

- a. Tentukan nilai arus magnet yang dipakai sebagai dasar evaluasi pengujian. Untuk menentukan nilai ini diambil harga antara 40 s/d 60% dari arus magnet maksimum yang digunakan . Dalam pengujian ini arus magnet maksimum yang digunakan dalam operasi adalah 1 A dan untuk rentang evaluasi diambil 0,4 sampai dengan 0,6 A.
- b. Catat besarnya masing-masing tegangan yang timbul pada posisi magnet dan jangkar tersambung, ( $V_{\text{on}}$ ) dengan arus dari 0 A sampai dengan 1 A dengan interval 0,1 A.  
Catat besarnya masing-masing tegangan yang timbul pada posisi magnet dan jangkar terpisah, ( $V_{\text{off}}$ ) dengan arus dari 0 A sampai dengan 1 A dengan interval 0,1 A.
- d. Hitung nilai  $V_r$  dari masing-masing interval pengukuran arus magnet.
- e. Amati besarnya nilai  $V_r$  untuk arus antara 0,4 A sampai dengan 0,6 A.  
Berdasarkan data pengukuran, gambarkan kurva karakteristik detektor koil, yaitu dengan menggambarkan kurva tegangan luaran (V) sebagai fungsi arus magnet untuk kondisi magnet terhubung dan kondisi magnet terpisah dengan jangkar.
- g. Berdasarkan data pengukuran  $V_r$  pada 0,4 A sampai dengan 0,6 A dan kurva karakteristik, lakukan evaluasi keandalan dan unjuk kerja detektor koil, dan unjuk kerja sistem instrumentasi penguat (*amplifier*) yang diperlukan.

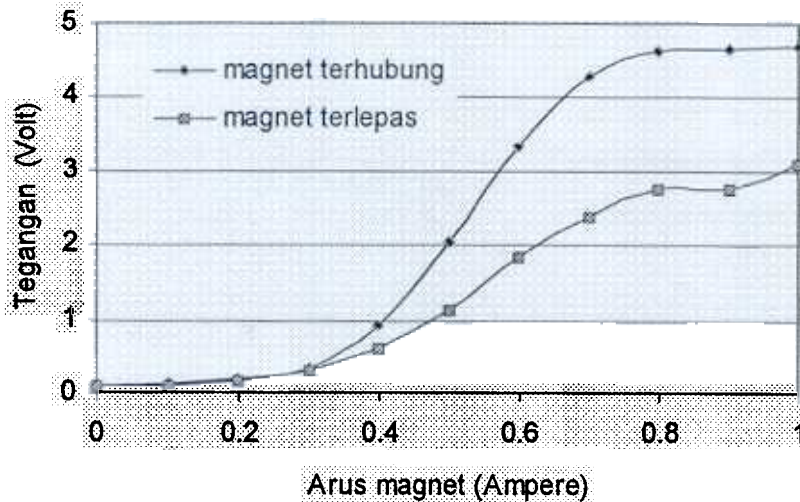
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk pengujian detektor koil dilakukan 2 rangkaian osilator dengan tegangan 10 dan 5 V sedangkan frekuensi osilator keduanya sama, sebesar 200 KHz pengujian detektor magnet dengan osilator 10 V, 200 KHz disajikan dalam Tabel 2 dan digambarkan dalam kurva karakteristik pada Gambar 3. Untuk pengujian dengan osilator 15 V, 200 KHz dihasilkan nilai rentang operasi seperti disajikan dalam Tabel dan kurva karakteristik seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.

Tabel 2. Karakteristik detektor koil dengan osilator 10 V, 200 KHz

Arus magnet (Ampere)	Tegangan magnet terhubung, $V_1$ (Volt)	Tegangan magnet terpisah, $V_2$ (Volt)	Rentang operasi (%)
0	0,09	0,09	0
0,1	0,12	0,118	1,667
0,2	0,189	0,181	4,233
0,3	0,345	0,305	1,594
0,4		0,602	34,565
0,5	2,034	137	44,100
0,6	3,344	,84	44,976
0,7		2,395	44,172
0,8	4,62	2,763	40,195
0,9	4,67	2,762	40,857
	4,68	3,1	33,761



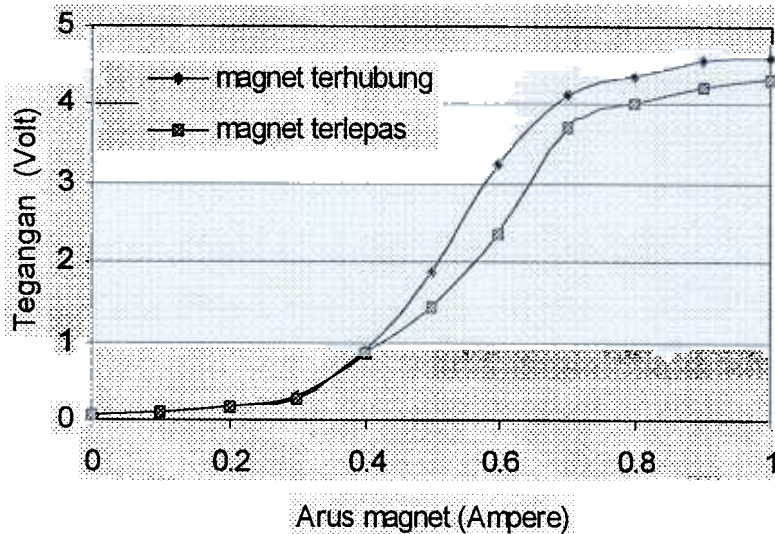


Gambar 3. Kurva karakteristik detektor koil dengan osilator 10 V, 200KHz

Tabel 3. Karakteristik detektor koil dengan osilator 15 V, 200 KHz

Arus magnet (Ampere)	Tegangan magnet terhubung, $V_1$ (Volt)	Tegangan magnet terpisah, $V_2$ (Volt)	Rentang operasi (%)
0	0,08	0,08	0
0,1	0,11	0,108	1,818
0,2	0,175	0,166	5,143
0,3	0,295	0,287	2,712
0,4	0,895	0,85	5,028
0,5	1,876	1,432	23,667
0,6	3,217	2,334	27,448
0,7	4,128	3,699	10,392
0,8	4,347	4,013	7,683
0,9	4,567	4,221	7,576
1	4,6	4,322	6,043





**Gambar 4. Kurva karakteristik detektor koil dengan osilator 15 V, 200 kHz**

Berdasar pengalaman teknik di lapangan, untuk mendapatkan hasil deteksi yang baik dalam membedakan sinyal posisi magnet diperlukan batasan harga beda tegangan relatif,  $V_r$  sebesar 30 %. Dari hasil pengujian dengan osilator 10 V, 200 KHz (Tabel 2 dan Gambar 3) diperoleh nilai beda tegangan relatif  $V_r$  diatas 30 % pada arus magnet diatas 0.4 A. Untuk osilator 15V, 200KHz, berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 dan Gambar 4 tegangan relatif 30 % sulit dicapai dan nilai optimumnya berada pada arus 0,5 A dengan harga  $V_r = 27 \%$ .

Dari pengujian ini dapat dinyatakan bahwa detektor koil dengan rangkaian osilator 10 V, 200 KHz memenuhi persyaratan desain dan dapat digunakan untuk deteksi magnet batang kendali. Pada harga osilator ini rentang operasi arus magnet dari 0,4 sampai dengan 0,6 A cukup panjang dan memudahkan untuk desain rangkaian penguat magnet. Untuk desain rangkaian sistem penguat arus berdasarkan pengalaman lapangan diambil kondisi sebesar 0,6 kali harga beda tegangan relatif ( $V_r$ ) antara magnet terhubung dan magnet terlepas. Dari data kurva karakteristik dapat ditentukan sistem penguat tegangan dan arus. Dari kurva karakteristik detektor koil untuk osilator 15 V,

200 kHz tidak bisa digunakan sebagai deteksi posisi magnet. Beda tegangan relatif ( $V_r$ ) antara kondisi magnet terhubung dan terpisah sangat kecil sehingga sulit memperoleh sinyal untuk membedakan posisi magnet. Desain sistem penguat juga mengalami kesulitan karena bentuk kurva antara kondisi magnet terhubung dan terpisah yang cenderung berhimpit.

Berdasarkan pengamatan hasil pengujian dan teori dasar dalam desain detektor koil dapat diketahui beberapa parameter pokok yang mempengaruhi karakteristik dan unjuk kerjanya. Faktor yang berpengaruh adalah bahan dan ukuran koil detektor. Bahan koil akan menentukan besarnya fluks dan bentuk garis gaya magnet yang menentukan besarnya arus induksi magnet. Untuk menghasilkan arus induksi yang mempunyai perbedaan besar saat magnet terhubung dan terlepas, diperlukan banyak percobaan sehingga diperoleh hasil yang cukup bagus dengan membuat bahan dari paduan besi N-50. Ukuran dan dimensi koil serta banyaknya lilitan ditentukan berdasarkan bahan dan besaran arus magnet yang digunakan. Dari hasil pengujian juga diketahui bahwa rangkaian osilator akan menentukan hasil akhir untuk sinyal deteksi. Untuk nilai frekuensi dan tegangan tertentu akan diperoleh tegangan relatif yang berbeda. Dari data pengujian dengan rangkaian osilator yang berbeda diperoleh karakteristik detektor yang berbeda pula. Perbedaan frekuensi pada akselerator juga akan menentukan karakteristik detektor koil. Dari pengujian ini dapat dikatakan bahwa faktor rangkaian osilator sangat berpengaruh dan dapat digunakan untuk parameter pengubah yang penting dalam desain detektor koil. Tahanan luar dalam rangkaian sistem detektor diperhitungkan untuk menghasilkan tegangan maksimum, sehingga dapat dihitung dan nilainya bergantung pada induktansi dan tahanan dalam dari koil detektor.

Dari deskripsi dan pengujian karakteristik detektor koil dapat diperoleh sistem detektor dengan unjuk kerja yang baik. Untuk peningkatan keandalan dalam deteksi magnet batang kendali, sistem detektor koil bisa digunakan. Dalam pemilihan dan penggunaannya harus dilakukan desain ulang yang harus disesuaikan dengan besaran operasi dari magnet yang digunakan. Untuk desain sistem ini sulit dilakukan dengan perhitungan yang pasti sehingga dalam pengembangan di Jepang dilakukan dengan penelitian langsung di lapangan dengan mengacu dan memodifikasi sistem yang telah diuji.

## **KESIMPULAN**

Karakteristik detektor koil dapat diperoleh dari kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan antara arus magnet dan tegangan luaran untuk kondisi magnet tersambung mau pun magnet terputus dengan jangkar. Dari kurva karakteristik disimpulkan bahwa detektor koil dengan osilator 10V, 200 KHz memenuhi persyaratan desain dengan beda tegangan relatif di atas 30 % pada arus magnet 0,4 sampai dengan 0,6 A. Rangkaian osilator merupakan salah satu faktor penting untuk modifikasi sistem detektor koil pada desain magnet batang kendali.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada Mr. Masahiro Nakano dan staf Divisi Reaktor JRR 3 di JAERI atas segenap bimbingannya dalam mendalami detektor koil untuk deteksi posisi magnet

## **DAFTAR PUSTAKA**

- BANDRIYANA, B, "Maintenance of Japan Research Reactor-2", Technical Report on Training of Science and Technology of Industrial Development (STAID)", 1992.
- 2 Anonim, "System Description of JRR-2 Control Rod Drive", JRR-2 Reactor Division, 1989.
  - 3 Anonim, "System Description of JRR-3 Control Rod Drive", JRR-3 Reactor Division, 1989.
  - 4 Anonim, "System Description of JRR-2 On-Magnet Detector ", JRR-2 Reactor Division, 1989.
  - 5 Anonim, "System Description of JRR-3 On-Magnet Detector", JRR-2 Reactor Division, 1989
  - 6 Anonim, "System Description of RSG-GAS Control Rod Drive", Interatom GmbH, 1987