

Studi Awal Pengembangan Mekanis Keseimbangan Untuk Aplikasi Thermogravimeter Menggunakan Sensor DC LVDT

Agus Sukarto Wismogroho, Bambang Hermanto

Pusat Penelitian Fisika-LIPI, Komplek PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan.
e-mail: agussukarto@gmail.com

Abstrak – Thermogravimetry Analysis (TGA) merupakan salah satu jenis alat analisa thermal material. TGA yang mempelajari hubungan antara temperature dengan perubahan masa suatu material. Alat ini sangat berguna untuk mempelajari perubahan masa material berkenaan dengan perubahan temperature, seperti pemanasan, sintering, kalsinasi dan lain sebagainya. Namun demikian, keberadaannya yang sangat terbatas menjadikan penggunaannya untuk mendukung penelitian sangatlah kurang. Pada penelitian ini dilakukan studi awal pengembangan TGA lokal. TGA yang dikembangkan memiliki sistem pengukur masa menggunakan sensor DC LVDT. Sebagai studi awal untuk mempelajari parameter-parameter yang diperlukan pada sensor TGA, maka berbagai variasi dikembangkan. Desain awal TGA menggunakan sistem keseimbangan kawat yang ukurannya divariasikan. Efek sensitifitas dari masing variasi dipelajari..

Kata kunci: TGA, DC LVDT, Keseimbangan, kawat.

I. PENDAHULUAN

Thermografimetri Analysis (TGA) merupakan alat analisa untuk mempelajari hubungan antara perubahan masa terhadap temperature. Masa suatu material dapat berkurang dikarenakan adanya penguapan, penguraian dan sejenisnya, dan dapat bertambah karena adanya reaksi dengan lingkungan, seperti oksidasi dan sejenisnya. Tahapan reaksi terhadap temperature yang diberikan menjadi parameter penting dalam proses pemanasan material dan produksinya.

Untuk mempelajari lebih jauh mekanisme perubahan struktur material terhadap panas yang diberikan, TGA dapat dikombinasikan dengan Differential Thermal Analysis (DTA). DTA mempelajari reaksi endotermik dan eksotermik material ketika panas diberikan. Gabungan kedua alat analisa ini membantu memahami mekanisme perubahan struktur ketika pemanasan diberikan. Gabungan sistem tersebut sering disebut TG-DTA. Berbagai macam produk komersial dari TGA, DTA, maupun TG-DTA telah ada di komersial. Namun demikian, mahalnnya harga alat karena produk impor, mahalnnya biaya operasional dan perawatannya, menjadikan alat

tersebut jarang terdapat dan jarang digunakan untuk melakukan penelitian di Indonesia. Dibandingkan dengan fungsinya yang sangat krusial, alat analisa panas tersebut masih belum dapat dimanfaatkan secara optimal. Hal ini menjadikan salah satu penyebab perkembangan material di Indonesia berkembang dengan kurang cepat.

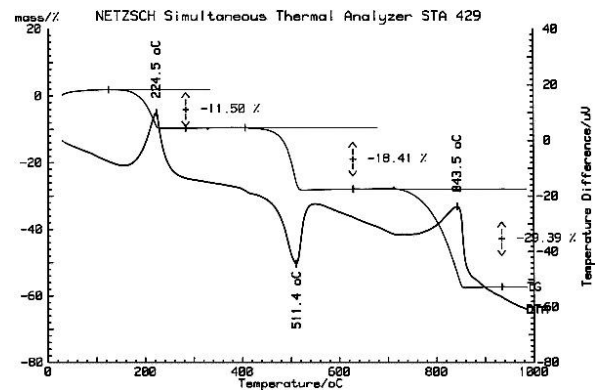
Untuk mendukung pengembangan alat analisa tersebut dan sebagai substitusi impor, Pusat Penelitian Fisika - LIPI memelopori pengembangan DTA local [1,2]. Disamping itu, untuk memahami perubahan ukuran terhadap panas yang diberikan, telah dikembangkan pula alat analisa DILATOMETER [3]. Pengembangan telah menunjukkan hasil dengan akurasi tinggi dan digunakan untuk mendukung riset material lokal dan dapat digunakan oleh seluruh peneliti nasional. Untuk melengkapi teknologi yang ada, TGA tengah dikembangkan.

Dasar teknologi TGA ditunjukkan pada diagram skematik dasar TGA yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sample diletakkan dalam cawan sample yang diletakkan pada ujung sistem neraca. Sistem neraca didesain memiliki sistem sensor yang mampu mendeteksi pergerakan tuas neraca dengan ukuran

yang sangat presisi. Jenis sensor neraca beragam, tergantung dari desain yang diinginkan. Sensor yang digunakan dihubungkan dengan DAQ dan komputer perekam. Pemanas diatur dengan tungku yang diatur memiliki kecepatan dan berbagai fitur pemanasan tertentu. TGA sangat berhubungan dengan kondisi gas didalam lingkungan, oleh karena itu, sistem gas dan jenis gas diatur agar dapat dikontrol dengan baik.

Contoh hasil analisa TGA ditunjukkan pada Gambar 2. Grafik TGA menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya suhu yang diberikan, berat material berkurang secara bertahap. Pengurangan berat juga sejalan dengan identifikasi adanya reaksi oleh DTA. Hal ini menunjukkan bahwa suatu reaksi telah terjadi akibat pemberian panas yang menimbulkan adanya perubahan panas dalam dan masa sample. Dengan menggunakan TGA dan dikombinasikan dengan DTA, perubahan yang terjadi sebagai efek pemberian panas dapat diidentifikasi secara kuantitatif dengan tepat.

karakteristik neraca yang dikembangkan pada kegiatan ini. Diharapkan pengembangan ini dapat menjadi titik awal pengembangan alat analisa TGA lokal di masa mendatang dan mensubstitusi produk impor untuk mendukung pengembangan riset nasional yang mandiri.



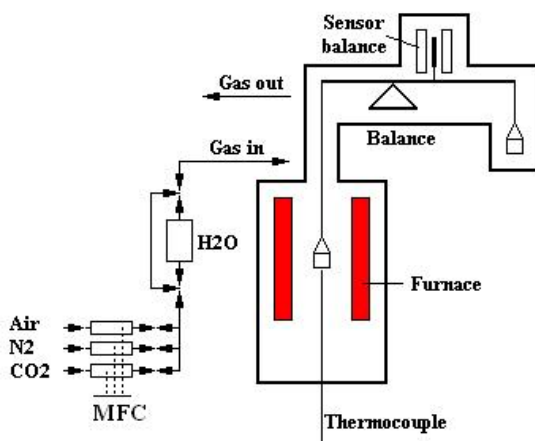
Gambar 2. Contoh hasil analisa TGA dan DTA dari Calcium Oxalate Monohydrate [6] menggunakan alat analisa STA 429, Netzsch.

II. METODOLOGI

Desain Neraca TGA

Desain neraca TGA yang dikembangkan pada kegiatan ini ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Tuas neraca diletakkan diatas kawat neraca. Tegangan kawat neraca diatur dengan memutar sistem roda gigi, sehingga dapat diperoleh tegangan kawat sesuai dengan yang diinginkan. Sistem tuas neraca didesain agar dapat bergerak bebas, sehingga dapat merespon pergerakan sekecil mungkin. Salah satu sisi tuas diletakkan sensor DC LVDT yang dapat mengukur perubahan jarak secara absolut terhadap tuas neraca. Salah satu ujung tuas neraca diletakkan sample dan di ujung yang lain diletakkan penyeimbang, agar posisi tuas dalam kondisi horizontal. Apabila sample ditambah disalah satu sisinya, maka tuas akan bergerak dan perubahan posisi tuas dapat diukur dengan akurat menggunakan sensor DC LVDT.

Sensor DV LVDT diletakkan pada salah satu sisi tuas. DC LVDT dihubungkan dengan DAQ dan komputer untuk merekam output dari DC LVDT. DC LVDT mengeluarkan output nilai voltase yang



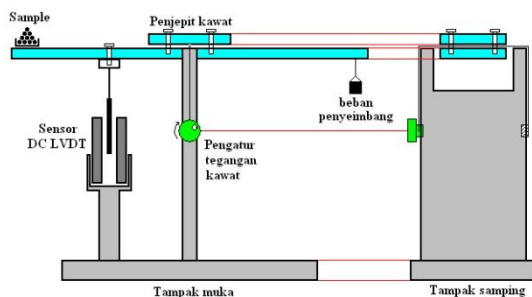
Gambar 1. Diagram skematik alat ukur Thermogravimetry Analysis [4,5].

Pada penelitian ini merupakan pengembangan awal pembuatan TGA lokal. Neraca yang digunakan adalah sistem jungkit, dengan sensor gerak yang digunakan untuk mendeteksi pergerakan tuas adalah DC Linear Variable Differential Transformer (LVDT). LVDT dapat mendeteksi perubahan gerak sampai pada level micrometer. Berbagai variasi parameter dipelajari untuk memahami

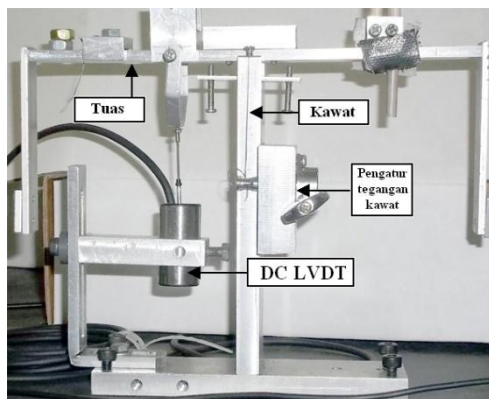
besarnya linear terhadap posisi inti besi sensor DC LVDT. Akurasi DC LVDT yang digunakan mencapai 1 μ m.

Pengukuran Karakteristik dari Neraca TGA

Untuk mempelajari karakteristik dari neraca TGA yang dikembangkan, beberapa variasi pengukuran dilakukan, yaitu variasi besar ukuran kawat dan kuat tegangan kawat secara kuantitatif. Gambar 5 menunjukkan kawat yang digunakan untuk neraca TGA. Tabel 1 menunjukkan diameter kawat yang digunakan. Pengukuran karakteristik neraca dilakukan dengan memberikan bola-bola besi dengan berat masing-masing sebesar 4.4 mg dan mengamati perubahannya pada tuas neraca. Perubahan jarak sebagai akibat dari penambahan berat direkam dan dianalisa.



Gambar 3. Desain sistem neraca untuk TGA buatan Pusat Penelitian Fisika – LIPI.



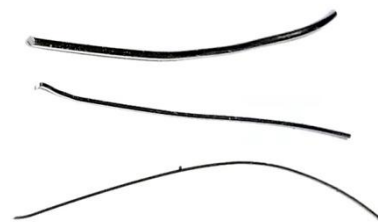
Gambar 4. Prototipe neraca untuk TGA yang diuji pada kegiatan ini.

Untuk mempelajari efek tegangan kawat terhadap sensitifitas perubahan tuas neraca, salah satu ujung kawat diikatkan pada roda gigi yang dapat diputar. Pada penelitian ini, untuk mempelajari efek tegangan kawat, roda gigi diputar setiap 45 derajat, untuk mendapatkan perubahan tegangan secara

kualitatif. (Besar tegangan secara kuantitatif tidak dilakukan.). sistem DAQ menggunakan labjack, dan sistem programming menggunakan LabView.

Tabel 1. Jenis dan ukuran kawat yang digunakan.

No	Jenis	Ukuran (mm)
1	Nilon	0.500
2	Steel wire	0.381
3	Steel wire	0.239
4	Steel wire	0.203



Gambar 5. Kawat yang digunakan untuk neraca TGA, dengan diameter 0.381 (atas), 0.239 (tengah), dan 0.203 (bawah).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hubungan pengaruh ukuran kawat dengan sensitifitas pergerakan tuas neraca.

Ketika neraca mengalami perubahan beban, maka neraca akan menentukan kesetimbangan baru kembali. Kesetimbangan tersebut berhubungan dengan jarak tegak lurus terhadap gravitasi bumi antara titik beban dengan pusat engkit pada tuas (tempat kawat). Pada percobaan ini, kondisi tegangan kawat dibuat serupa dan jumlah beban sedikit demi sedikit ditambahkan.

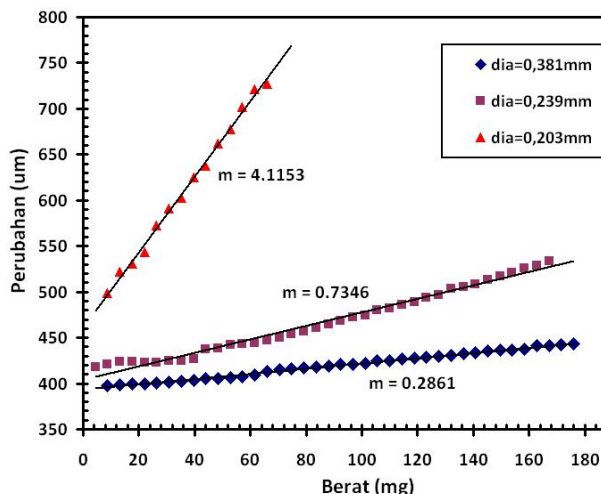
Hubungan antara besar kawat dengan sensitifitas pergerakan tuas neraca ketika beban ditambahkan ditunjukkan pada Gambar 6. Grafik hubungan tersebut bersifat linier. Besar sensitifitas dapat diketahui dengan nilai m , atau rasio kemiringan grafik antara berat beban dengan perubahan yang terjadi. Nilai m menunjukkan besar perubahan pergerakan tuas untuk setiap milligram penambahan beban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai m untuk diameter kawat yang kecil jauh lebih

besar dibandingkan dengan kawat yang besar. Nilai m terbesar yang diperoleh adalah 4.1 μm untuk setiap milligram perubahan berat. Apabila dibandingkan dengan sensitifitas terkecil yang dapat dibaca alat ukur LVDT adalah 0.5 μm , maka nilai minimal yang dapat dibaca sebesar 0.12 mg. Perbandingan minimal mampu baca ditunjukkan pada Tabel 2.

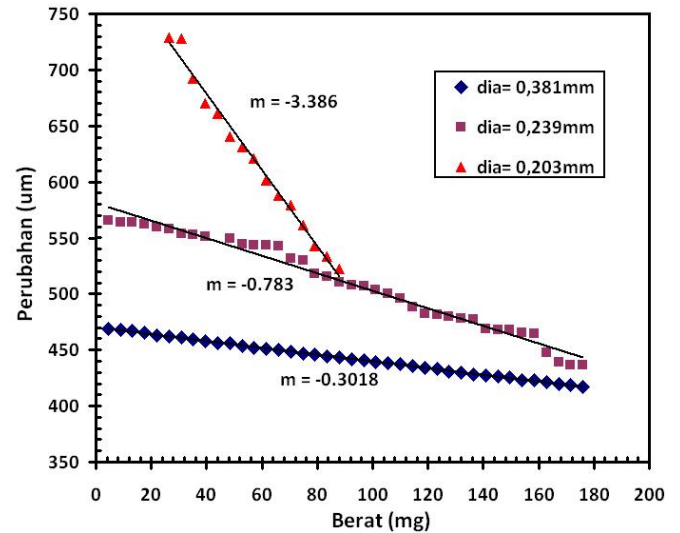
Tabel 2. Sensitifitas pengukuran menggunakan berbagai ukuran kawat

No	Diameter (mm)	m naik	m turun	Sensitifitas (mg/ μm)
1	0.381	0.286	0.302	1.75-1.65
2	0.239	0.734	0.783	0.68-0.64
3	0.203	4.115	3.386	0.12-0.15

Hubungan antara besar kawat dengan sensitifitas pergerakan tuas neraca ketika beban dikurangi ditunjukkan pada Gambar 7. Grafik hubungan tersebut bersifat linier. Nilai m terbesar yang diperoleh adalah 3.386 μm untuk setiap milligram perubahan berat. Dibandingkan dengan nilai dan akurasi ketika penambahan berat, nilai pada saat penurunan berat menunjukkan adanya sedikit perubahan. Perubahan ini menunjukkan masih adanya histerisis antara ketika beban ditambahkan dan beban dikurangi. Namun demikian, linieritas dan akurasi yang diperoleh menunjukkan nilai yang cukup signifikan.



Gambar 6. Grafik hubungan antara perubahan tuas dengan penambahan beban sampel.

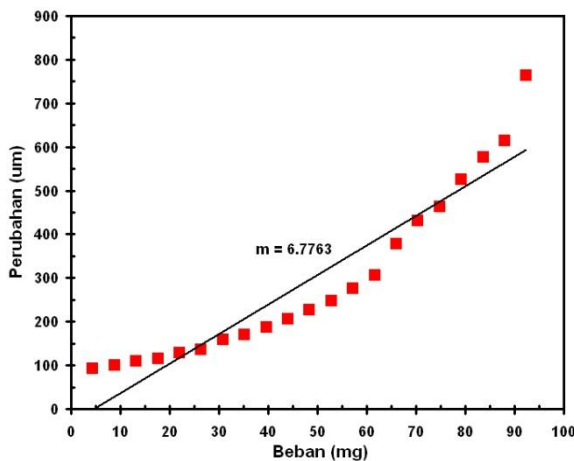


Gambar 7. Grafik hubungan antara perubahan tuas dengan pengurangan beban sampel.

Nilai akurasi menunjukkan hubungan terbalik dengan besar kawat. Hal ini disebabkan karena kawat berjenis steel memiliki nilai penahanan torsi putar yang semakin besar dengan semakin besarnya diameter kawat. Kuat penahanan tersebut menahan tuas untuk dapat berputar dengan bebas. Oleh karena itu, pengecilan ukuran kawat menjadi pilihan yang baik.

B. Pengaruh Penggunaan Bahan dari Nilon.

Untuk mengurangi besar tahanan yang dikarenakan oleh jenis bahannya, maka dilakukan ujicoba menggunakan bahan yang sangat lentur, yang memiliki penahanan torsi putar sangat rendah, yaitu benang nilon dengan diameter 0.5 mm. Hasil pengujian hubungan antara perubahan tuas dengan penambahan beban sample ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan benang nilon dengan diameter 0.5 memiliki sensitifitas yang lebih besar, yaitu 0.074 mg/ μm . Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan benang nilon, penahanan torsi putar dengan nilai rendah dapat diperoleh. Namun demikian, hasil hubungan antara perubahan tuas dengan penambahan beban menunjukkan hubungan yang tidak linier (polynomial).



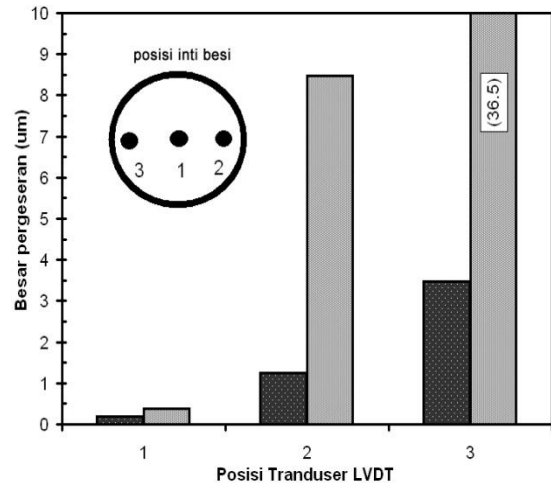
Gambar 8. Benang.

C. Kesetimbangan terhadap gangguan dan posisi inti besi dalam sensor LVDT.

Peletakan inti besi pada neraca TGA memerlukan spesifikasi mampu kembali ke posisi semula apabila dikenai gangguan. Untuk mempelajari sejauh mana kemampuan kembali kepada posisi semula setelah mengalami gangguan, maka dilakukan pengujian pemberian gangguan udara dan diamati posisi kembalinya. Disamping itu divariasikan juga, posisi inti besi ketika gangguan diberikan, untuk mengetahui sejauh mana efek posisi inti besi terhadap karakteristik kesetimbangannya.

Gambar 9 menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan pada kawat diameter 0.386 dan 0.239. Hasil analisa menunjukkan bahwa pergeseran terkecil diperoleh pada posisi tengah untuk semua jenis kawat. Hal ini menunjukkan bahwa posisi inti besi dari LVDT turut menentukan sensitifitas dari neraca. Ketika posisi inti besi berada di pusat, efek gesekan dan sejenisnya terhadap dinding lvdt dapat dikurangi atau dihindari, sehingga pergeseran pengukuran dapat diredam.

Kawat dengan ukuran yang lebih besar memiliki nilai pergeseran yang lebih kecil dibandingkan dengan kawat dengan ukuran yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa ketika nilai penahanan yang disebabkan oleh besar torsi putar dari kawat semakin besar, hal ini akan membantu tuas untuk dapat kembali dari suatu gangguan luar dengan lebih mudah dibandingkan dengan kawat yang memiliki torsi putar kecil.



Gambar 9. Hubungan posisi inti besi dan besar pergeseran untuk kawat dengan diameter 0.386 (kiri) dan 0.239 (kanan).

D. Tegangan Kawat.

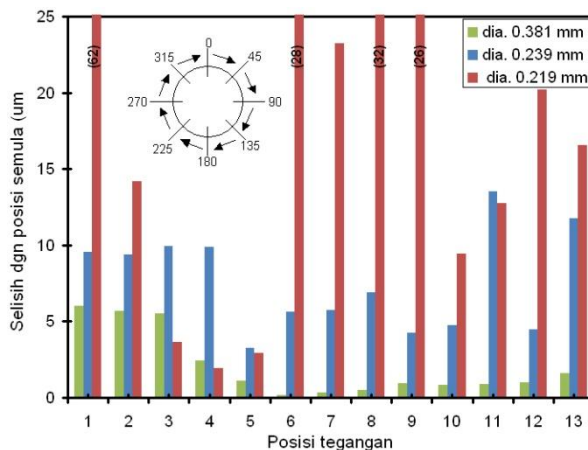
Untuk dapat digunakan sebagai pusat ungkit dari neraca, kawat harus diletakkan dalam kondisi membentang. Bentangan kawat perlu dibuat sehingga dapat menyangga beban tuas dan sampel dalam kondisi statis. Oleh karena itu, perlu suatu nilai tegangan kawat tertentu untuk mendapatkan kondisi yang diinginkan tersebut. Pada kegiatan ini, ukuran tegangan kawat diberikan secara kuantitatif dengan memberikan putaran (menggulung) pada kawat sebesar beberapa derajat, sampai kawat tersebut putus. Hasil ujicoba ditunjukkan pada Gambar 10. Hasil ujicoba menunjukkan bahwa pada setiap ukuran kawat menunjukkan adanya posisi yang memiliki nilai kesetabilan yang paling optimal dibandingkan dengan posisi yang lainnya. Pada kondisi tegangan kawat rendah, kestabilan kawat juga rendah. Semakin tinggi tegangan kawat, kestabilan kawat meningkat pada titik optimalnya dan menurun kembali setelah itu. Dibandingkan dengan posisi tegangan kawat kecil, posisi tegangan kawat yang lebih besar sedikit lebih baik.

E. Diskusi.

Penggunaan kawat sebagai pusat ungkit untuk neraca TGA merupakan salah satu pilihan yang baik. Hasil akurasi dapat mencapai 0.12 mg/μm. Namun demikian, berbagai parameter pendukung, seperti posisi inti besi dari sensor LVDT,

besar tegangan kawat dan sejenisnya perlu dioptimalkan untuk dapat memperoleh kesetabilan dan akurasinya. Penggunaan material pengganti kawat dengan tahanan torsi putar yang rendah dapat meningkatkan tingkat sensitifitas dari pembacaan. Hal ini disebabkan karena besar tahanan ketika tuas bergerak dapat berkurang secara signifikan. Namun demikian, efek dari posisi inti besi LVDT dimungkinkan menghambat kestabilan sistem tersebut.

Kestabilan neraca akan meningkat dengan meningkatnya besar tahanan torsi putar dari kawat yang digunakan, sedangkan sensitifitas akan meningkat dengan berkurangnya besar tahanan torsi putar dari kawat atau bahan yang digunakan sebagai pusat ungkit. Disamping itu, untuk dapat memperoleh neraca yang lebih baik, diperlukan sistem sensor yang mampu mendukung peningkatan sensitifitas dan stabilitas pembacaan sehingga dapat membaca perubahan posisi sekecil-kecilnya dengan akurasi yang tinggi.



Gambar 10. Hasil pengukuran pergeseran posisi setelah diberi gangguan, terhadap besar tegangan kawat yang diberikan. Posisi tegangan setelah kawat digulung (diputar pada logam diameter 5mm) 1=0°, 2=45°, 3=90° dst.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pengembangan awal alat ukur TGA. Alat ukur TGA merupakan gabungan dari neraca pengukur berat atau masa dengan tungku pemanas. Neraca TGA didesain menggunakan pengungkit dari kawat dan nilon. Sensor pengukur perubahan berat

dilakukan dengan menggunakan DC LVDT dengan akurasi 0.5um/mV.

Kawat dengan diameter 0.302 menunjukkan sensitifitas 1.65-1.75 mg/um, sedangkan kawat dengan diameter 0.203 menunjukkan akurasi 0.12-0.15mg/um, dan nilon dengan diameter 0.5mm menunjukkan sensitifitas 0.074 mg/um. Kawat dengan ukuran lebih kecil dan tahanan torsi putar kecil meningkatkan sensitifitas neraca. Namun demikian, berkebalikan dengan itu, stabilitas dari neraca menjadi menurun. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya kemungkinan besar untuk dapat menggunakan sistem TGA yang ada dengan akurasi pada posisi berkisar 0.12-1.75 mg/um.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih atas terlaksananya kegiatan ini karena pendanaan dari DIPA-Kompetitif Pusat Penelitian Metalurgi dan DIPA-Tematik Pusat Penelitian Fisika LIPI. Ucapan terimakasih atas segala bantuan rekan-rekan yang bekerja keras membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus SW, "Studi Awal Pengembangan Calculated - Differential Thermal Analysis (C-DTA) Untuk Analisa Titik Leleh Material Paduan Sn dan Zn", Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng & DIY, Solo, 2013, inpress
- [2] Agus SW, "Pengembangan Dilatometer Untuk Analisa Karakteristik Sintering Magnet Berbasis Ferrite", Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng & DIY, Solo, 2013, inpress.
- [3] M. Nagashaki, Introduction to Experimental Techniques for Thermal Analysis, Shinku Riko Press, 1979
- [4] T. Hatakeyama, Zhenhai Liu, Handbook of Thermal Analysis, John Wiley & Sons, New York, 1998
- [5] Carlo Riontinoa, Cristina Sabbionia, Nadia Ghedinib, Giuseppe Zappiaac, Giancarlo Gobbic, Orlando Favonic, "Evaluation of atmospheric deposition on historic buildings by combined thermal analysis and combustion techniques", Volume 321, Issues 1-2, 2 November 1998, Pages 215-222.
- [6] <http://www.setaram.com/index.htm> (diakses tgl 28 Mei 2013).
- [7] <http://www.ssi.shimadzu.com/products/product.cfm?product=tga50> (diakses tgl 28 Mei 2013).