

ANALISIS KARAKTERISTIK PEMBANGKITAN PANAS GAMMA PADA BERBAGAI JENIS BAHAN DI TERAS REAKTOR GA. SIWABESSY.

Setiyanto, Dj. Hasibuan.*)

David Rusli **), Lamhot Hutagalung ***)

*) Peneliti PRSG-BATAN, **) Mahasiswa ISTN, ***) Mahasiswa Pasca Sarjana UI

ABSTRAK

ANALISIS KARAKTERISTIK PEMBANGKITAN PANAS GAMMA PADA BERBAGAI JENIS BAHAN DI TERAS REAKTOR GA. SIWABESSY. Dengan hipotesis bahwa interaksi radiasi gamma dengan materi selalu diikuti oleh perubahan energi menjadi panas, dan interaksi tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis bahan, maka bahan yang berbeda akan menerima jumlah panas yang berbeda, walaupun terkena radiasi gamma yang sama. Untuk mempelajari lebih jauh fenomena tersebut, telah dilakukan analisis terhadap karakteristik pembangkitan panas radiasi gamma pada berbagai jenis bahan. Secara teoritis, analisis dilakukan dengan perhitungan yang menggunakan program GAMSET, diterapkan pada berbagai jenis bahan (sampel), sedangkan secara praktis dilakukan pengukuran langsung di teras reaktor dengan menggunakan 4 (empat) buah kalorimeter gamma yang berlainan jenis. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya variasi tak kontinyu panas radiasi gamma sebagai fungsi jenis bahan (diwakili oleh nomor atom Z). Dapat disimpulkan bahwa bahan dengan nomor atom rendah ($Z < 13$), jenis bahan relatif tak mempengaruhi tingkat pembangkitan panasnya, tetapi untuk bahan dengan $Z > 13$, panas radiasi gamma naik cukup tajam sebagai fungsi jenis bahan.

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF THE CHARACTERISTIC OF GAMMA HEATING GENERATION ON THE MATERIAL AT G.A SIWABESSY REACTOR. Based on the hypothesis that the gamma ray interaction with matter is always followed by the transfer of gamma energy to heat generation, and this transfer greatly dependent to material, therefore the different materials will generate the different heat. To know this dependency phenomena, the analysis of the gamma heating generation on materials have been done. Theoretically, the analysis was carried out by means of GAMSET code, which was applied for some materials. Practically, the direct measurements were done by using 4 (four) differences calorimeters. The results showed that the gamma heating generation on certain materials increase discontinuesly as a function of their atomic numbers (Z). For the light materials ($Z < 13$), the dependencies of the atomic numbers are practically ignored. However, for the heavy materials ($Z > 13$), the heat generations are linearly increased as function of their atomic numbers.

PENDAHULUAN.

Interaksi radiasi gamma dengan materi selalu diikuti oleh perubahan energi radiasi menjadi panas pada materi yang bersangkutan, sehingga materi

tersebut akan menjadi sumber panas yang biasa disebut sebagai panas gamma. Demikian halnya material di teras reaktor yang selalu terkena paparan radiasi, akan mengalami hal yang sama. Mengingat panas gamma

tersebut (pada reaktor nuklir) relatif besar, yang dalam kondisi tertentu dapat membahayakan, maka kuantisasi produksi panas ini perlu diteliti dengan baik.

Khusus untuk reaktor GA.Siwabessy, penelitian tersebut belum ditangani dengan baik, padahal hasilnya sangat diperlukan untuk melengkapi data teras reaktor, khususnya yang berkaitan dengan analisis keselamatan. Dengan hipotesis bahwa berdasarkan teori atenuasi, proses interaksi radiasi gamma dengan materi selalu dipengaruhi oleh jenis dan ketebalan material, (demikian juga pembangkitan panasnya), maka sangat mungkin bahwa bahan yang berbeda akan menghasilkan jumlah panas yang berbeda, walaupun dikenakan pada radiasi gamma yang sama^[1,2].

Untuk mempelajari lebih jauh fenomena tersebut, serta untuk melihat sejauh mana kebenaran hipotesis tersebut, maka perlu dilakukan penelitian terhadap karakteristik pembangkitan panas radiasi gamma pada berbagai jenis bahan. Penelitian dilakukan dengan dua cara, yaitu perhitungan dengan program GAMSET^[3,4], diterapkan pada berbagai jenis bahan (sampel), dan pengukuran langsung di teras reaktor dengan menggunakan 4 (empat) buah kalorimeter gamma yang berlainan jenis. Kesesuaian hasil yang dicapai akan memberikan gambaran yang baik terhadap misi penelitian ini.

TEORI

Kebolehdjian interaksi yang selalu diikuti oleh pembangkitan panas, sangat dipengaruhi oleh jenis radiasi gammanya, (atau biasa disebut sebagai spektrum energi gamma), jenis bahan serta bentuknya^[2,3]. Dua besaran terakhir biasanya dinyatakan dalam

nomor atom bahan dan geometri atau ketebalan bahan. Hubungan matematis yang mengaitkan ketiga faktor di atas, diberikan berdasarkan persamaan atenuasi linier sebagai berikut:

$$I(E) = I_0(E) \exp - \left(\frac{\mu(E)}{\rho} \right) \rho x$$

(gamma/cm³s) (1)

Perbedaan antara I(E) dan I₀(E) merupakan bagian intensitas yang diserap dan menjadi panas, yaitu :

$$[I_0(E) - I(E)] = I_0(E) [1 - \exp - \left\{ \frac{\mu(E)}{\rho} \right\} \rho x] \quad (2)$$

dimana:

I₀(E) : intensitas awal radiasi gamma dengan energi (E)

I(E) : intensitas setelah melewati bahan/materi penyerap.

μ(E) : koefisien atenuasi massa dari bahan penyerap dan untuk gamma energi (E).

ρ : massa jenis bahan penyerap

x : tebal bahan penyerap yang mewakili bentuk bahan penyerap.

Jika persamaan ini dikalikan dengan energi gamma (Eγ), luas penampang (S) dan tebal (x) dari bahan yang disinari, maka akan diperoleh daya panas radiasi gamma (P) yang dibangkitkan dalam bahan tersebut, yaitu:

$$P = [I_0(E) - I(E)] E\gamma S.x \text{ (watt)} \quad (3)$$

Dari persamaan 1 nampak bahwa koefisien absorpsi massa $\left(\frac{\mu(E)}{\rho} \right)$ adalah parameter yang menentukan sejauh mana radiasi gamma yang berenergi (E) mampu menembus bahan yang dilewati. Nilai parameter tersebut sangat variatif, baik sebagai fungsi jenis bahan maupun energi gamma. Dalam hal yang lebih umum, besaran tersebut terbentuk dari gabungan koefisien-koefisien absorpsi untuk proses foto listrik, efek Chompton dan interaksi produksi pasangan. Ketiga

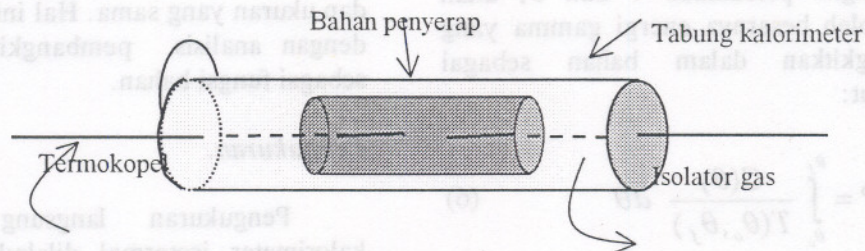
besaran terakhir sangat ditentukan oleh nomor atom bahan dan energi gamma yang fungsinya sangat kompleks^[2].

Jika kembali pada masalah absorpsi energi gamma, dapat disederhanakan bahwa semakin pendek daya tembus gamma pada bahan, berarti semakin besar transfer energi yang diberikan kepada bahan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa untuk radiasi gamma yang sama akan mengakibatkan efek pemanasan yang berbeda pada bahan yang berlainan, khususnya pada bahan yang sangat mudah dan sangat sulit ditembus radiasi gamma. Parameter lain yang mempengaruhi transfer energi adalah ketebalan bahan (x), namun karena dalam penelitian ini hanya difokuskan pada perbedaan jenis bahan, maka ketebalan bahan penyerap dibuat sama. Ketiga persamaan di atas hanyalah merupakan persamaan dasar yang digunakan untuk mengilustrasikan proses pembangkitan panas gamma di dalam

suatu bahan. Pada kenyataannya baik spektrum gamma maupun jenis bahan penyerapnya menjadikan bentuk-bentuk persamaan yang lebih kompleks, sehingga memerlukan alat bantu (*tool*) yang dapat digunakan untuk menghitung dan atau untuk mengukur langsung.

Kalorimeter Isotermal.

Kalorimeter isotermal adalah salah satu jenis alat ukur yang dapat digunakan untuk mengukur panas gamma total yang dibangkitkan oleh radiasi gamma pada suatu bahan. Kalorimeter ini terdiri atas sebuah tabung yang di dalamnya terdapat bahan penyerap/sensor, diisolasi terhadap lingkungan dengan gas. Panas yang dibangkitkan akan menaikkan suhu bahan penyerap dan akan diukur dengan termokopel yang dipasang di dalamnya. (selengkapnya ditunjukkan dalam bagan berikut:)



Gambar 1. Bagan kalorimeter isotermal

Akibat interaksi radiasi gamma dengan materi (bahan penyerap), maka akan terjadi perpindahan panas/energi dari energi gamma menjadi kalor pada bahan tersebut, dengan demikian bahan penyerap akan menjadi sumber panas. Panas akan menjaral di dalam bahan untuk menaikkan energi dalam dari dirinya, dan akhirnya melalui gas isolator, kalor akan menuju ke bagian luar sistem kalorimeter sebagai kalor yang bocor/hilang. Berdasarkan hukum termodinamika, kesetimbangan kalor di

dalam bahan penyerap, dapat disebutkan bahwa: **Panas yang diterima** (dari radiasi gamma) sama dengan **Kenaikan Energi intern** bahan di tambah **Besarnya energi yang bocor ke luar sistem**, yang dapat dituliskan sebagai:

$$\text{Energi masuk} = \text{Kenaikan Energi dalam} + \text{Energi bocor.}$$

$$P dt = C(\theta) d\theta + f(\theta_f - \theta_i) dt \quad (4)$$

dimana:

P = panas gamma per satuan massa penyerap yang dipindahkan ke dalam bahan penyerap, dengan satuan Watt/gram.

θ_i, θ_f = suhu awal dan suhu akhir bahan penyerap, ($^{\circ}\text{C}$).

$C(\theta)$ = panas jenis bahan sebagai fungsi suhu, ($\text{J/g } ^{\circ}\text{C}$).

$d(t)$ = variabel waktu (s).

$f(\theta_f - \theta_i)$ = fungsi panas yang hilang dari penyerap ke lingkungan melalui proses konduksi, konveksi dan radiasi (W/g).

Proses perpindahan panas pada bahan penyerap jika kalorimeter dikenai fluks gamma, maka perubahan suhu penyerap akan bervariasi secara eksponensial dalam bentuk :

$$(\theta - \theta_f) = (\theta_i - \theta_f) \text{Exp} - \left(\frac{t}{T(\theta_i, \theta_f)} \right) \quad (5)$$

dimana : $T(\theta_i, \theta_f)$ adalah tetapan waktu (periode) kalorimeter dalam interval suhu antara θ_i sampai θ_f .

Gabungan persamaan 4 dan 5, akan diperoleh besarnya energi gamma yang dibangkitkan dalam bahan sebagai berikut:

$$P = \int_{\theta_o}^{\theta_f} \frac{C(\theta)}{T(\theta_o, \theta_f)} d\theta \quad (6)$$

Dengan hanya menentukan periode kalorimeter, serta dengan mencatat suhu awal dan suhu akhir kalorimeter setelah menerima medan radiasi, maka panas gamma P dapat ditentukan. Periode kalorimeter $T(\theta_i, \theta_f)$ ditentukan berdasarkan persamaan 5 yang dikenakan pada grafik evolusi suhu bahan penyerap, sedangkan $C(\theta)$ diambil nilai dari referensi untuk jenis bahan terkait.

TATA KERJA PERCOBAAN DAN PERHITUNGAN.

Perhitungan.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program GAMSET yang telah divalidasi untuk RGS-GAS^[1]. Untuk mendapatkan hasil yang representatif, dianalisis pembangkitan panas pada Grafit (C), Aluminium (Al), Besi (Fe), Zirkonium (Zr), Plumbum (Pb) dan Uranium (U). Pemilihan bahan tersebut diambil dengan pertimbangan di samping dapat mewakili seluruh unsur yang ada, juga memilih bahan-bahan yang paling sering digunakan di teras reaktor. Mengingat setiap jenis interaksi gamma-materi (efek Compton, efek foto listrik dan produksi pasangan) mengandung variabel nomor atom (Z), maka dalam analisis ini variabel yang dimunculkan untuk mewakili jenis bahan akan digunakan nomor atomnya. Perhitungan pertama dilakukan pada bahan-bahan yang mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Hal ini berkaitan dengan analisis pembangkitan panas sebagai fungsi bahan.

Pengukuran.

Pengukuran langsung dengan kalorimeter isothermal dilakukan untuk melengkapi/menguatkan hasil perhitungan di atas. Pengukuran dilakukan dengan 4 (empat) buah kalorimeter^[5], ditempatkan pada pisisi CIP (D-6 dan E-7) untuk daya reaktor 1, 3, 5 dan 7 MW.

Tata kerja

- Kalorimeter ditempatkan pada posisi iradiasi yang diinginkan dengan bantuan stringer FPM.
- Reaktor dioperasikan pada daya yang diinginkan.

- Sekitar tiga jam setelah reaktor kritis, pengukuran/eksperimen baru dimulai.
- Kalorimeter digeser secara vertikal untuk mendapatkan posisi maksimum panas gamma.
- Penentuan periode dilakukan dengan membuat plot/kurva perubahan suhu kalorimeter pada saat diberikan pergeseran vertikal posisi kalorimeter yang signifikan.
- Tata kerja di atas diberlakukan untuk semua jenis kalorimeter yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai hasil perhitungan dan pengukuran untuk Periode kalorimeter dan Panas Gamma diberikan pada tabel-tabel berikut:

Tabel 1. Periode kalorimeter hasil pengamatan/eksperimen

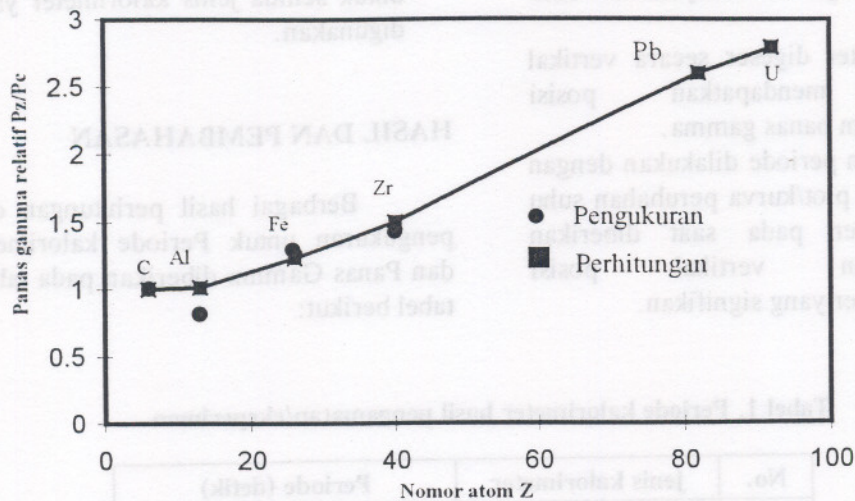
No.	jenis kalorimeter	Periode (detik)
1.	Grafit	$T(\theta) = 27,35 - 0,02(\theta)$
2.	Aluminium	$T(\theta) = 36,31 - 0,62(\theta)$
3.	Besi	$T(\theta) = 51,45 - 0,30(\theta)$
4.	Zirkonium-1	$T(\theta) = 40,24 - 0,12(\theta)$
5.	Zirkonium-2	$T(\theta) = 41,69 - 0,10(\theta)$
6.	Zirkonium-3	$T(\theta) = 18,64 - 0,06(\theta)$

Tabel 2. Hasil perhitungan panas gamma pada berbagai bahan dimensi sama

No	Bahan (nomor atom)	Panas radiasi gamma Pz (W/g)	Panas pada bahan relatif terhadap Grafit Pz/Pc
1.	Grafit (C-6)	5,71	1,00
2.	Aluminium (AL-13)	5,77	1,01
3.	Besi (Fe-26)	7,02	1,23
4.	Zirkonium (Zr-40)	8,56	1,50
5.	Plembem (Pb-82)	14,85	2,60
6.	Uranium (U-92)	15,93	2,79

Tabel 3. Hasil Pengukuran panas gamma pada bahan yang dimensinya sama.

No.	Kalorimeter	Panas gamma (watt/gr)	Perbandingan relatif terhadap Grafit
1.	Grafit	5,2	1,00
2.	Aluminium	3,94	0,76
3.	Besi	6,7	1,29
4.	Zirkonium	7,5	1,44



Gambar 2. Variasi panas gamma pada bahan dimensi yang sama sebagai fungsi bahan (Nomor atom)

PEMBAHASAN

Perhitungan dan pengukuran panas gamma dalam berbagai jenis bahan telah dilakukan dengan hasil seperti diberikan pada tabel dan gambar di atas. Untuk variasi panas gamma sebagai fungsi bahan, yang ditunjukkan oleh perbandingan relatif Pz/Pc diperoleh korelasi yang cukup baik antar hasil pengukuran dan perhitungan, (Tabel 2, Tabel 3 dan Gambar 2). Panas gamma yang diperoleh bervariasi sebagai fungsi jenis bahan. Hal tersebut memang sesuai dengan apa yang telah dikemukakan pada hipotesisnya, bahwa bahan yang berbeda akan menghasilkan jumlah panas yang berbeda meskipun diberikan pada radiasi yang sama.

Hasil yang menarik adalah diperolehnya variasi panas gamma yang ternyata tidak kontinu. Pada bahan dengan nomor atom rendah (di bawah Aluminium), panas gammanya praktis tidak berubah sebagai fungsi jenis bahan. Pada bahan dengan nomor atom menengah (di bawah Pb), panas gamma naik secara linier sebagai fungsi nomor atom bahan. Sedangkan pada bahan-bahan berat (di atas Pb), ternyata ada

kecenderungan kenaikan panas gammanya sedikit menurun.

Hasil tersebut (yang merupakan karakteristik panas gamma) dapat diterangkan sebagai berikut: Bahwa pada bahan dengan nomor atom rendah umumnya memiliki koefisien absorpsi massa yang hampir sama, sehingga pembangkitan panasnya pun tidak banyak berbeda. Sedangkan pada bahan dengan nomor atom menengah ke atas, perbedaan koefisien absorpsi massanya sangat besar sehingga mengakibatkan nilai pembangkitan panasnya berubah sangat cepat. Pada unsur yang sangat berat (di atas Pb) koefisien absorpsi massanya begitu besar sehingga daya tembus gamma di dalam bahan tersebut sangat kecil, ini berarti pembangkitan panasnya terjadi di permukaan bahan saja, yang mengakibatkan pembangkitan panas rata-ratanya turun (lihat kurva Gambar 2).

Jika dilihat nilai riil panas gamma pada Grafit, Besi dan Zirkonium yang rata-rata perbedaan antara perhitungan dan pengukurannya sekitar 8,6 % dapat disebabkan belum baiknya pelaksanaan eksperimen. Apalagi eksperimen yang

menggunakan kalorimeter buatan sendiri ini baru dapat dilakukan satu kali, sehingga faktor-faktor koreksinya masih tinggi, antara lain kesetabilan daya reaktor, karakteristik kalorimeter serta unjuk kerja ploter yang kurang sempurna. Namun demikian perbedaan tersebut cukup wajar untuk dapat diterima sebagai nilai yang baik.

Secara umum hasil yang diperoleh sudah dapat menunjukkan hasil karakteristik panas gamma yang spesifik untuk teras RSG-GAS, mengingat setiap reaktor memiliki karakteristik yang berlainan.

KESIMPULAN

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi panas gamma pada berbagai bahan (sebagai fungsi nomor atom Z) ternyata tidak kontinyu. Panas gamma pada bahan dengan nomor atom rendah ($Z < 13$), relatif tidak berubah, sedangkan untuk bahan dengan $Z > 13$, panas radiasi gammanya naik cukup tajam sebagai fungsi nomor atom bahan. Efek serapan permukaan mulai nampak hanya pada bahan dengan nomor atom tinggi (di atas Pb).

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Tenaga Atom Nasional, "Pengantar Teknologi Reaktor", Jakarta - 1985
2. R.E JAEGER et al. , "Engineering compendium on radiation shielding". vol. 1. Shielding fundamentals and methodes. - 1968.
3. SETIYANTO, "Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi II", PPSM-BATAN, Serpong, 29-30 Okteber 1997.
4. SETIYANTO, et al. "Aplikasi program perhitungan panas radiasi gamma GAMSET pada RSG-GAS." Prosiding PPI-Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir. Yogyakarta, 28-30 April 1992.
5. SETIYANTO, et al. " Disain dan pembuatan kalorimeter gamma untuk RSG-GAS", Prosiding Hasil Penelitian PRSG th. 1997/1998.

DISKUSI

Pertanyaan (Uju Jujuratisbela)

Apabila diperlukan akuisisi data yang "built-up" yang biasa digunakan dalam eksperimen anda, kiranya alat tersebut dapat digunakan. Syarat utama dari input/masukan ke alat derau (DSA) adalah tegangan ± 10 volt.

Jawab (Setiyanto)

Terima kasih informasinya, akan kami pelajari kemungkinan pemakaiannya.

Pertanyaan (Hudi Hastowo)

1. Mengapa I/o menggunakan plotter daripada menggunakan sistem akuisisi data yang lain?
2. Usahakan menyelesaikan sistem akuisisi data daripada mencoba memperbaiki ketelitian plotter yang sudah tua.

Jawab (Setiyanto)

1. Sistem akuisisi data yang disiapkan belum bisa berfungsi s/d pelaksanaan eksperimen. Namun demikian pada eksperimen berikutnya akan diusahakan dengan sistem akuisisi data.

2. Terima kasih, akan kami lakukan.

Pertanyaan (Indrawanto)

- 1. Pada Tabel 3,4 didapat dua harga panas γ yang berbeda, mana yang paling betul.
- 2. Pada pelaksanaan pengukuran dilakukan di posisi teras nomer berapa? Dan berapakah dayanya?

Jawab (Setiyanto)

- 1. Yang dipilih hasil perhitungannya.
- 2. Di posisi D-6 dan E-7. Pada daya 1,3,5 dan 7 Kw, tetapi semua hasilnya telah diekstrapolasi ke daya 30MW.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bahan Tenaga Atom Nasional, "Pergantar Teknologi Reaktor", Jakarta - 1985
2. R. E. JAEGER et al., "Engineering compendium on radiation shielding", vol. I. Shielding fundamentals and methods. - 1968.
3. SETIYANTO, "Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi II", PPSM-BATAN, Sepang, 29-30 October 1997.
4. SETIYANTO, et al. "Aplikasi program perhitungan panas radiasi gamma GAMSET pada RSG-GAS", "Prosiding PPI-Penelitian Dasar Ilmu Pengobatan dan Teknologi Nuklir Yogyakarta, 28-30 April 1997.
5. SETIYANTO, et al. "Desain dan pembuatan kalorimeter gamma untuk RSG-GAS", "Prosiding Hasil Penelitian PRSG II, 1997/1998.

DISKUSI

Pertanyaan (Uji Jujur)

Apabila diberikan skripsi data yang "boik-up" yang biasa digunakan dalam eksperimen anda, kitanya apa tersebut dapat digunakan. Syarat utama dari input/masukan ke alat deteksi (DSA) adalah tegangan ± 10 volt.

Jawab (Setiyanto)

Terima kasih informasinya, akan kami pelajari kemungkinan pemakaiannya.

Pertanyaan (Hadi Hastowo)

- 1. Mengapa ko menggunakan plotter daripada menggunakan sistem skripsi data yang lain?
- 2. Apakah menyelesaikan sistem skripsi data daripada mencoba memperbaiki kecatan plotter yang sudah ada.

Jawab (Setiyanto)

1. Sistem skripsi data yang dipakai belum bisa berfungsi sd pelaksanaan eksperimen. Namun demikian pada eksperimen berikutnya akan diusahakan dengan sistem skripsi data.