

## DOSIMETRI NEUTRON DAN ALFA DENGAN $^{39}\text{Cr}$ TRACK ETCHING

Rini Heroe Oetami, Sumantono Kasan  
Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

DOSIMETRI NEUTRON DAN ALFA DENGAN  $^{39}\text{Cr}$  TRACK ETCHING. Telah dilakukan kajian dan percobaan dengan bahan detektor yang terbuat dari *allyl diglycol carbonate*, lebih dikenal dengan  $^{39}\text{Cr}$ . Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengembangkan dosimetri neutron yang kian hari makin terasa penting, terutama untuk mengukur dosis neutron yang rendah. Percobaan dilakukan dengan menyinari  $^{39}\text{Cr}$  terhadap  $^{241}\text{Am}$  ( $\alpha \sim \alpha_i \cdot 10^7/\text{min}$ ), dan Pu-Be sebagai sumber neutron dan neutron 14 MeV dari generator neutron.  $^{39}\text{Cr}$  disinari oleh  $^{241}\text{Am}$  dengan energi 1, 3 dan 5 MeV pada berbagai sudut penyinaran. Sedangkan untuk neutron dilakukan dengan berbagai dosis. *Prosedur etching* secara kimia dan elektrokimia telah dilakukan dengan untuk menentukan jumlah jejak partikel yang terbentuk. Dengan penyinaran alpha dari berbagai sudut penyinaran dapat dipelajari bahwa arah penyinaran berpengaruh pada jumlah jejak yang muncul. Sedangkan variasi *etching* menunjukkan bahwa jumlah jejak akan semakin banyak dan diperbesar dengan *etching* secara elektrokimia, yaitu *pre etching* selama 1,5 jam dalam KOH 6N, rendaman air 16 jam diikuti dengan *etching* pada frekuensi rendah (60 Hz) selama 5 jam dan pada frekuensi tinggi (1000 Hz) selama 45 menit. Temperatur *etching*  $60^\circ\text{C}$ . Percobaan ini merupakan penelitian awal yang memerlukan penelitian lanjutan untuk mencapai tujuan pengembangan dosimetri neutron.

### ABSTRACT

NEUTRON AND ALPHA DOSIMETRY USING  $\text{Cr}^{39}$  TRACK ETCHING. Initial studies and experiments using allylglycol carbonate known as  $\text{Cr}^{39}$  as detector material have been performed. The objective of this experiment is to develop neutron dosimetry which is more and more important nowadays, especially to determine low neutron dose. The experiment was done by irradiating  $\text{Cr}^{39}$  exposing it to  $\text{Am}^{241}$  ( $\alpha \sim \alpha_i \cdot 10^7/\text{min}$ ) and neutrons from Pu - Be as well as 14 MeV and neutrons from a neutron generator. Energies of  $\text{Am}^{241}$  chosen were 1, 3 and 5 MeV with variation of irradiation angle, while neutron irradiation was done various doses. Etching procedures i.e. chemical and electrochemical etching, are used to determine the number of tracks. Electrochemical etching processes will increase the number of tracks formed in the foil. Irradiation angle has some effects to the track number and its shape. This experiment should be continued to develop neutron dosimetry.

### PENDAHULUAN

Penelitian jejak partikel (track) pada bahan insulator yang pertama kali dilakukan adalah oleh Young (1950), yang kemudian terhenti untuk beberapa lama. Baru sekitar tahun 1962, penelitian tersebut kembali berkembang setelah Price dan Walker mendapatkan kesimpulan bahwa larutan *etching* yang mengenai daerah rusak dari suatu bahan, dapat memperbesar kerusakan tersebut sehingga mudah diamati dengan mikroskop. Dari penelitian selanjutnya diketahui bahwa jejak partikel pada bahan seperti kristal, gelas, dan plastik dapat diamati pula. Salah satu bahan yang saat ini sedang dikembangkan adalah  $^{39}\text{Cr}$ , yang terbuat dari allyl diglycol carbonate atau disebut juga diethylene glycol bis (allyl carbonate), yang biasa dipakai sebagai monomer untuk membuat plastik termoset.

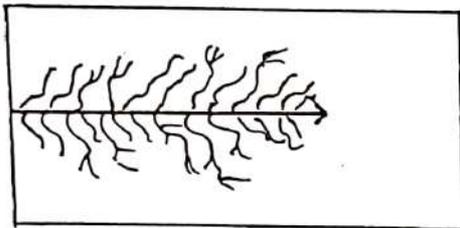
Salah satu masalah dalam dosimetri neutron personel adalah pengukuran neutron yang mempunyai energi di bawah 500 keV dan di atas batas atas albedonya, kira-kira 10keV [Griffith et al., 1979]. Neutron dengan jangkauan energi seperti ini merupakan neutron yang berperan penting dalam menghasilkan dosis neutron ekuivalen. Oleh karena itu diperlukan dosimeter yang dapat mendeteksi neutron pada energi ini, lagi pula pada umumnya pekerja radiasi menerima dosis neutron yang rendah.

Pengukuran dosis neutron dengan metode pencacahan jejak partikel untuk penggunaannya pada detektor partikel zat padat memerlukan sejumlah "lubang" yang *etching* persatuan luas permukaan detektor. Melalui penghitungan jejak partikel yang terbentuk, dengan mudah dapat

dihitung dosis radiasi neutron yang diterima oleh pekerja radiasi.

Pada makalah ini dikemukakan hasil penelitian pendahuluan dari dosimetri neutron dengan metode *track etching* pada bahan  $^{39}\text{Cr}$ . Tujuan akhirnya adalah mengembangkan dosimetri neutron yang selama ini baru dilakukan dengan TLD. Beberapa bahan TLD untuk dosimetri menunjukkan ketergantungan energi yang besar pada daerah energi rendah. Sehingga diharapkan dengan meneliti aspek dosimetri dari  $^{39}\text{Cr}$  beserta kelebihan-kelebihannya, dapat untuk mengembangkan dosimetri neutron.

Dengan memahami mekanisme terbentuknya jejak partikel dan kemampuan *etching*, maka dapat digambarkan secara kualitatif struktur jejak dari partikel bermuatan ketika berinteraksi dengan bahan, yang secara sederhana dapat ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Gambarsederhana jejak partikel bermuatan di dalam bahan.

Untuk partikel bermuatan, distribusi ionisasi atau energi yang terdeposit sebagai fungsi dari jarak terhadap jejak partikel yang sebagian besar dipengaruhi oleh kecepatan partikel. Partikel berkecepatan rendah, kehilangan energinya melalui berbagai tumbukan. Energi ini diberikan kepada suatu elemen volume berbentuk silindris, dari bahan disekitar jejak partikel. Untuk interaksi partikel cepat, sebagian fraksi energi hilang dan menghasilkan elektron berenergi tinggi. Karena jangkauan energinya luas, elektron tersebut mengionisasi atau memberikan energinya pada suatu elemen volume bahan yang lebih besar.

Pada bahan detektor untuk pengamatan jejak partikel, kuantitas utama dari prinsipnya adalah energi yang tertinggal di dekat jejak yang dilalui partikel, yang berperan penting pada reaktivitas pembentukan jejak dengan larutan kimia.

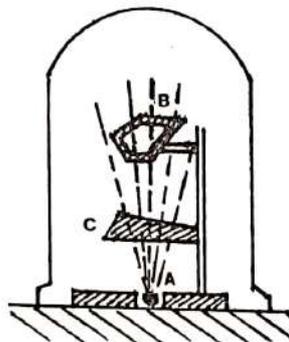
Dari beberapa penelitian yang ada, diketahui bahwa karakteristik utama dari bahan detektor jejak partikel adalah kerapatan kerusakan sepanjang inti jejak sangat kecil sehingga memungkinkan jejak tersebut untuk diperbesar dengan

*etching*. Keseluruhan energi yang hilang tidak berkontribusi pada kerusakan di daerah ini, tetapi ada sebagian yang menimbulkan kerusakan pada daerah yang jauh dari inti jejak.

## BAHAN DAN TATA KERJA

Seperti telah dijelaskan pada pendahuluan, bahwa makalah ini mengemukakan hasil penelitian pendahuluan yang bertujuan mengembangkan dosimetri neutron. Untuk itu telah dilakukan percobaan-percobaan dengan sumber radiasi alfa dan neutron. Dipilih sumber alfa karena lebih mudah mengatur energi dan intensitas partikel yang mengenai bahan, sehingga memudahkan pengamatan awal jejak partikel.

Pengaturan energi alfa dilakukan dengan menggunakan tabung hampa udara seperti tampak dalam gambar 2 yang didalamnya diletakkan sumber  $^{241}\text{Am}$  dan keping aluminium untuk mengatur sudut penyinaran.



Keterangan:

- A = Sumber  $^{241}\text{Am}$
- B =  $^{39}\text{Cr}$  Keping Al untuk pengaturan sudut penyinaran.
- C = Penghalang

Gambar 2. Tabung hampa udara untuk mengatur energi  $\alpha$  dan penyinaran.

Tekanan udara dalam tabung hampa udara dapat diatur sedemikian rupa sehingga energi  $\alpha$  dan  $^{241}\text{Am}$  dapat ditentukan sesuai dengan energi yang dikehendaki. Tabel 1 menunjukkan nilai tekanan dalam tabung serta energi  $\alpha$ .

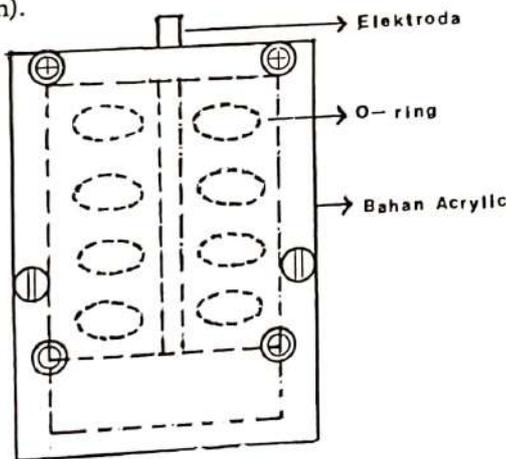
Sebelum dipakai sebagai dosimeter pada keping  $^{39}\text{Cr}$ , ditentukan dahulu sisi yang mempunyai latar belakang tinggi dan rendah. Penyinaran dilakukan pada sisi keping dengan latar belakang rendah. Latar belakang ini dapat berasal dari goresan, atau partikel debu, atau pori pada permukaan detektor. Sisi yang diiradiasi ditandai dengan nomor.

Untuk *etching* secara kimia dan elektro kimia digunakan KOH 6N. Setelah dietching, keping  $^{39}\text{Cr}$  dicuci bersih dengan air dan di test dengan fenolftalein untuk melihat kemungkinan masih lekatnya KOH pada permukaan keping sebelum di cacah, karena dapat mengganggu pembacaan.

E (MeV)	Jangkauan di udara(cm)		Intensitas tekanan untuk 12 cm	Tekanan (cm Hg) untuk 12 cm
	pada 15°C	pada 22°C		
5,48	4,06	4,16	0	0
5	3,48	3,56	1,50	3,8
4	2,47	2,53	4,06	10,3
3	1,65	1,69	6,15	15,6
2	1,00	1,02	7,82	19,9
1	0,50	0,51	8,84	22,5

Tabel 1. Nilai tekanan udara untuk mendapatkan energi  $\alpha$  dari  $^{241}\text{Am}$  dengan panjang jejak di udara 12 cm

*Etching* secara elektro kimia dilakukan pada tegangan tinggi 2000 volt dengan Hi.Vol.Etc Supply AEP 5366 frekuensi rendah (60 Hz) dan frekuensi tinggi (1000 Hz). Pembacaan *track* dilakukan dengan *microfiche reader* yang perbesarannya 54 kali. Sel *etching* terbuat dari bahan acrylic seperti yang terlihat pada gambar 3, dan digunakan untuk perlakuan *etching* pada elektro kimia di dalam pemanas (stabil therm gravity oven).



Gambar 3. Sel *etching*

Untuk mengamati ketergantungan arah penyunaran pada  $^{39}\text{Cr}$ , sejumlah keping diiradiasi pada sudut yang berbeda (0o, 15o, 30o, 60o dan 75o) dengan  $^{241}\text{Am}$  ( $\alpha \sim 10^7 \alpha_i/\text{min}$ ). Kemudian pada keping diberi *pre etching* dengan KOH 6N selama 1 jam, dilanjutkan dengan *etching* elektro kimia pada frekuensi rendah 60 Hz selama 5 jam dan frekuensi tinggi 1000 Hz selama 45 menit pada suhu 60°C. Hasil percobaan ini tercantum pada tabel 2 dan kurva pada gambar 4.

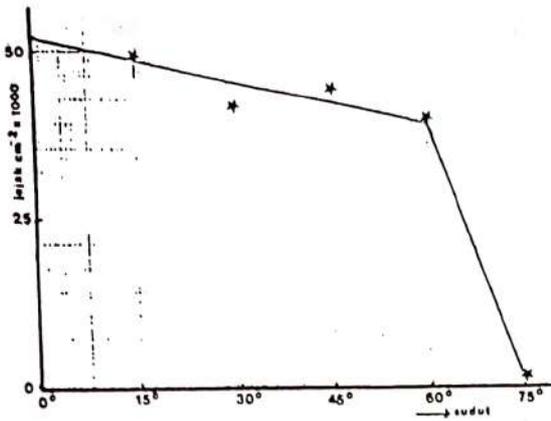
Tabel 1. Penyinaran  $^{39}\text{Cr}$  dengan  $^{241}\text{Am}$  ( $\alpha \sim 10^7 \alpha_i/\text{min}$ ),  $E = 5,5 \text{ MeV}$  pada berbagai sudut penyinaran.

Prosedur <i>etching</i>	sudut	jejak/ $\text{cm}^2$
Pre <i>etching</i> KOH 6N 1 jam	0	51880
ECE frekuensi 60 Hz 5 jam	15	49880
ECE frekuensi 1000 Hz 45'	30	42280
Temperatur 60°C	45	45240
	60	39720
	75	340

Percobaan kedua, memvariasikan cara *etching* dengan berbagai energi (1, 3 dan 5 MeV) untuk penyinaran  $^{241}\text{Am}$ , yaitu untuk melihat efek *etching* yang berbeda. Hasil percobaan tercantum pada tabel 3.

Tabel 3. Variasi cara *etching*.

Prosedur <i>etching</i>	Sudut penyinaran	Jumlah jejak/ $\text{cm}^2$		
		1 MeV	3 MeV	5 MeV
Pre <i>etching</i>	0	14440	16000	tidak dilakukan
1,5 jam	15	14770	16060	
Rendaman air	30	13460	14320	
16 jam	45	8520	11800	tidak dilakukan
ECE 60 Hz	60	8520	7300	
5 jam	75	3220	3590	
ECE 1000 Hz	90	220	0	tidak dilakukan
45 menit				
Pre <i>etching</i>	0	14800	15160	
1,5 jam	15	13940	14500	
Rendaman air	30	13020	13940	
16 jam	45	11140	9780	tidak dilakukan
ECE 60 Hz	60	8960	8070	
5 jam	75	3440	3840	
ECE 1000 Hz	90	60	210	tidak dilakukan
45 menit				
Pre <i>etching</i>	0	16880	15320	
1,5 jam	15	16720	14260	14780
Rendaman air	30	14480	12940	13740
16 jam	45	12860	10900	11560
ECE 60 Hz	60	9640	8640	7380
5 jam	75	2110	6840	0
ECE 1000 Hz	90	80	245	0
45 menit				



Gambar 4. Kurva ketergantungan arah penyinaran  $^{241}\text{Am}$  pada energi 5,5 MeV.

Untuk mengetahui kepekaan  $^{39}\text{Cr}$  terhadap neutron, sejumlah keping telah disinari dengan neutron berenergi 14 MeV dan dosis yang berlainan. Hasil pencacahan jejak tercantum dalam tabel 4.

Tabel 4. Penentuan kepekaan (# jejak/cm<sup>2</sup>-mrem)  $^{39}\text{Cr}$ .

Prosedur etching	Dosis (rad)	# jejak /cm <sup>2</sup>	Kepekaan
Pre etching 1,5 jam	15,86	37048	0,32
Rendaman air	3,96	25149	0,87
16 jam	0,99	13948	1,93
ECE 60 Hz 5 Jam	0,39	12413	2,29
ECE 1000 Hz			
45 menit			
Pre etching 1,5 jam	15,86	53257	0,46
ECE 60 Hz 5 jam	3,96	26017	0,90
	0,99	7588	1,05
	0,39	4071	1,43

Cara penentuan dosis neutron dengan  $^{39}\text{Cr}$  dapat dilakukan dengan melekatkan teflon yang mengandung 5% litium borat pada keping  $^{39}\text{Cr}$ . Sedang sebagai pembanding digunakan keping yang lain yang dilekatkan film, dan kemudian disinari dengan sumber neutron Pu-Be yang dosisnya tidak diketahui. Setelah penyinaran, keping-keping tersebut diberikan *pre etching* dengan KOH 6N selama 1,5 jam pada 60°C, direndam dalam air selama 16 jam, dan akhirnya di *etching* kembali secara elektro kimia pada frekuensi 60 Hz selama 5 jam yang dilanjutkan dengan frekuensi tinggi 1000 Hz pada 60° selama 45 menit. Diketahui

bahwa kepekaan Li-borat dalam teflon adalah 400 jejak/cm<sup>2</sup>-mrem, sedang untuk film 670 jejak/cm<sup>2</sup>-mrem. Dari percobaan yang dilakukan, keping dengan 5% Li-Borat dalam Teflon dapat dilakukan perhitungan dosis yang mengenai  $^{39}\text{Cr}$  setelah jumlah jejak yang terbentuk pada  $^{39}\text{Cr}$  diketahui, yaitu:

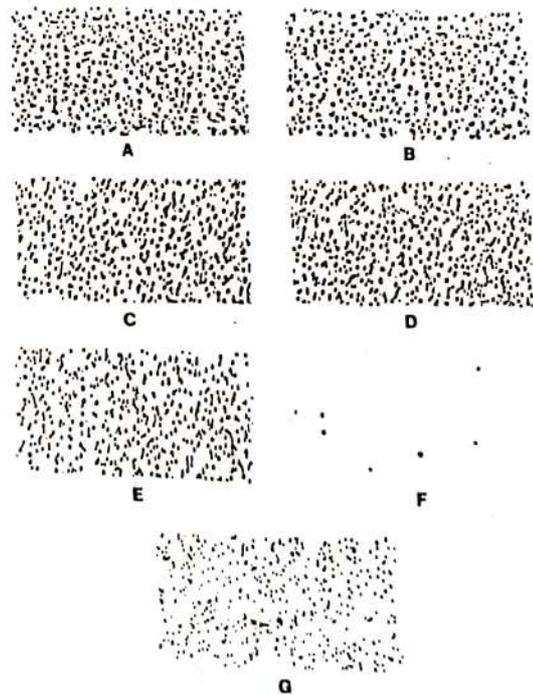
Dosis yang terukur adalah :

$$= \frac{6990 \text{ jejak/cm}^2}{400 \text{ jejak/cm}^2 - \text{mrem}} = 17,475 \text{ mrem}$$

Sedangkan untuk film, dosis yang terukur adalah

$$= \frac{15000 \text{ jejak/cm}^2}{670 \text{ jejak/cm}^2 - \text{mrem}} = 22,38 \text{ mrem}$$

Untuk mengamati ketergantungan arah penyinaran, bentuk jejak partikel dan efek *etching* secara kimia maupun elektro kimia, disajikan hasil photo micrograph pada gambar 5.



Gambar 5. Jejak partikel  $\alpha$  (5,5 MeV), *Pre etching* 1,5 jam, frekuensi 60 Hz 5 jam. Frekuensi 1000 Hz 45 menit, temperatur 60°C. Arah penyinaran :A (0°), B (15°), C (30°), D (45°), E (60°), F (75°).G (0°) *Etching* kimia 16 jam.

## PEMBAHASAN DAN KESIMPULAN.

Respon  $^{39}\text{Cr}$  pada penyinaran dengan sudut yang berlainan menunjukkan perbedaan jumlah jejak partikel persatuan luas. Pencacahan terbanyak didapat jika berkas radiasi datang dari arah  $0^\circ$ , dan makin menurun pada sudut penyinaran yang makin besar. Diperkirakan pada sudut datang normal, jumlah jejak partikel akan semakin sedikit karena semakin sempit daerah yang dikenai radiasi. Tetapi pada umumnya para pekerja radiasi dalam menghadapi medan radiasi jarang dari arah  $90^\circ$ , maka pengurangan pencacahan ini tidak menjadikan masalah yang menyulitkan.

Dari tabel 3, cara *etching* dengan *pre etching* 1,5 jam dalam rendaman air 16 jam dan *etching* elektro kimia 60 Hz selama 5 jam dan frekuensi 1000 Hz selama 45 menit, biasanya memberikan cacahan jejak partikel (per  $\text{cm}^2$ ) yang lebih banyak dibandingkan dengan cara *etching* yang lain, baik untuk energi 1 MeV maupun 3 MeV. Pada energi 5 MeV, dengan cara *etching* seperti pada tabel 2,  $^{39}\text{Cr}$  tidak memberikan respon untuk arah  $75^\circ$  dan  $90^\circ$ . Hal ini dapat disebabkan oleh kecilnya luasan  $^{39}\text{Cr}$  yang dikenai berkas, dan dapat juga disebabkan oleh energinya yang lebih besar, sehingga energi yang diberikan pada elemen volume di dekat inti jejak lebih sedikit membentuk kerusakan dibandingkan dengan yang jauh dari inti jejak. Dengan demikian kerusakan tersebut tidak seluruhnya dapat di *etching*. Rendaman air selama 16 jam tampaknya tidak begitu berpengaruh pada jumlah jejak yang terbentuk. Dari gambar jejak partikel, untuk arah penyinaran yang berlainan dan *etching* secara kimia maupun elektro kimia, dapat diketahui bahwa arah penyinaran selain mempengaruhi jumlah jejak partikel juga mempengaruhi bentuk jejaknya. Jika *etching* secara kimia saja maka akan didapat jejak partikel yang sangat sulit untuk dibedakan terhadap bentuk-bentuk lain seperti: goresan, partikel debu dan pori permukaan bahan. Sedangkan *etching* secara elek-

trokimia memberikan bentuk jejak partikel yang lebih besar dan memudahkan pengukuran jumlah jejak yang hanya sedikit didalam  $^{39}\text{Cr}$  untuk suatu luasan yang hanya beberapa  $\text{cm}^2$ .

Tabel 4 menyajikan kepekaan  $^{39}\text{Cr}$  yang dicoba dengan berbagai dosis. Nilai kepekaan yang didapat masih kurang mendekati nilai dalam literatur, yaitu 3 jejak/ $\text{cm}^2\text{-mrem}$ . Hal ini dapat disebabkan oleh cara pembacaan jejak yang kurang teliti dalam membedakan jejak dengan bentuk-bentuk lain, atau prosedur *etching*-nya memerlukan perbaikan. Walau demikian, dengan nilai kepekaan 2,29 track/ $\text{cm}^2\text{-mrem}$  untuk dosis penyinaran 0,39 rad adalah merupakan nilai yang cukup baik.

Dari hasil penelitian pendahuluan ini dapat disimpulkan dan disarankan:

1. *Etching* secara kimia saja tanpa menggunakan medan listrik bertegangan tinggi, tidak menghasilkan jejak partikel yang jelas. Sehingga mempersulit pembedaan jejak partikel dengan bentuk lain yang bukan jejak partikel, serta sukar menentukan dosis neutron dengan tepat, terutama pada dosis rendah.
2. Dengan *etching* elektro kimia, jejak partikel diperbesar, sehingga mempermudah perhitungan dosisnya.
3. Ketergantungan arah penyinaran menyebabkan berubahnya jumlah dan bentuk jejak partikel.
4. Untuk pemakaian  $^{39}\text{Cr}$  pada aplikasi dosimetri personal, perlu ditentukan kepekaannya. Untuk penentuan ini maka sangat diperlukan *etching* secara elektro kimia, yaitu untuk menghitung jejak partikel yang terbentuk dengan lebih teliti.
5. Penelitian pendahuluan ini memerlukan kelanjutan guna mengembangkan dosimetri neutron.

## DAFTAR PUSTAKA

1. TOMMASINO L.K.G., Harrison Damage Track Detectors for Neutron Dosimetry: I Registration and Counting methods, Radiation Protection Dosimetry, Vol 10 No 1-4, pp 207-217, 1985
2. CROSS, W.G., et al., Effect of Pre-Etching on the Registration in  $^{39}\text{Cr}$  of Electrochemically etched Tracks of Protons and Alpha particles of Different energies, Nuclear Tracks and Radiation Measurement, Vol 8 No 1-4, pp 109-112, 1984.
3. CROSS, W.G., Characteristics of Track Detectors for Personal Neutron Dosimetry, AECL, 1985.
4. AL NAJJAR, S.A.R., BULL, R.K., and DURRANI, S.A., Electro chemical etching of  $^{39}\text{Cr}$  Plastics: Applications to Radiation Dosimetry, Nuclear Tracks, Vol 3, pp 169-183, 1979.
5. W.G. Cross, Komunikasi Pribadi.