

## Teknik nuklear dalam kajian aliran air tanah

KAMARUDIN SAMUDING, MOHD TADZA ABD RAHMAN AND JUHARI YUSOF

Institut Penyelidikan Teknologi Nuklear Malaysia (MINT)  
43000 Bangi, Selangor

**Abstrak:** Sumber air tanah adalah salah satu daripada sumber air yang berpotensi untuk digunakan dimasa akan datang. Teknik nuklear dengan kaedah pencairan penyurih radioisotop digunakan untuk menentukan halaju dan arah aliran air tanah. Peralatan yang digunakan dalam kajian ini ialah sistem rheometer dan "Sistem Pemantauan Arah". Teknik nuklear ini melibatkan penyuntikan penyurih radioisotop di dalam lubang gerudi dan pemantauan ke atas kekekatannya dilakukan pada beberapa jangka waktu tertentu. Teknik nuklear yang berkaitan dengan aliran air tanah adalah merupakan teknik yang terbaik dalam mengenalpasti masalah kegagalan cerun di Klian Intan, Perak, tanah runtuh di Paya Terubong, Penang, dan migrasi bahan pencemaran di tapak pelupusan sistem terbuka Gemencheh, Negeri Sembilan.

**Abstract:** Groundwater is one of the potential water resources for the future use. Nuclear technique with radioisotope tracer dilution method is used to determine the groundwater flow velocity and direction. The equipments used in this study are Rheometer system and "Direction Monitoring System". This technique involves the injection of radioisotope tracer into the borehole and monitor its concentration over a period of time. The nuclear technique, which is related to the groundwater flow, is a powerful tool in identifying slope failure problem in Klian Intan, Perak, landslide in Paya Terubong, Penang, and migration of contaminants at the Gemencheh municipal waste disposal site, Negeri Sembilan.

### PENDAHULUAN

Pembangunan industri, pertambahan penduduk, keperluan sumber tenaga yang tinggi dan pengeluaran pertanian yang meningkat akan mempengaruhi keperluan air yang tinggi. Sumber air dari air permukaan yang digunakan sekarang tidak dapat menampung keperluan ini dimasa akan datang. Oleh yang demikian kajian ke atas sumber air tanah perlu dijalankan. Selain daripada itu, sumber air tanah ini juga merupakan salah satu punca berlakunya kegagalan cerun dan tanah runtuh terutamanya di kawasan tanah tinggi.

Kajian terhadap air tanah dengan menggunakan isotop buatan telah dijalankan sejak beberapa tahun yang lepas. Pada masa ini, isotop buatan telah digunakan sebagai penyurih untuk menyiasat aliran air tanah dengan kaedah lubang tunggal. Penyurih isotop buatan yang digunakan adalah Tc-99m (pertechnate) yang boleh diukur secara *in-situ* kerana ia mengeluarkan sinaran gama. Dengan peralatan pengesan radiasi yang moden, penyurih isotop buatan ini boleh dikesan walaupun dalam kuantiti dan kepekatan yang rendah.

Kaedah lubang tunggal yang juga dikenali sebagai pencairan lubang tunggal adalah merupakan kaedah yang tersohor dalam kajian air tanah untuk menentukan parameter alirannya (Margrita & Gaillard, 1991). Untuk menentukan halaju aliran air tanah, kaedah ini pada prinsipnya adalah melibatkan penyuntikan penyurih isotop buatan ke dalam lubang gerudi dan dipantau di lubang gerudi yang sama akan pengurangan kekekatannya pada tempoh masa tertentu. Prinsip ini terpakai bagi sebarang penyurih isotop buatan kerana ia mudah dikesan secara *in situ* dengan kejutuan yang tinggi pada kepekatan yang sangat rendah. Pemonitoran dilakukan sama ada dalam lubang gerudi

semasa pengaliran penyurih isotop buatan masuk ke dalam akuifer atau dalam air yang mengandungi penyurih isotop buatan yang telah dipam keluar daripada lubang gerudi selepas berlaku pengaliran penyurih isotop buatan. Maklumat yang diperolehi daripada teknik ini selain daripada halaju adalah arah aliran air tanah.

### TEORI ASAS

Aliran air tanah semulajadi adalah secara laminar (Drost, 1983). Bentuk aliran sebegini adalah merupakan kelajuan aliran yang berkadar terus dengan kecerunan hidraulik yang dikenali sebagai Hukum Darcy.

$$V_f = K \cdot I = \frac{d(-K \cdot h)}{ds} \quad (1)$$

$V_f$  = halaju Darcy, halaju turasan, luahan tentu atau luahan perunit luas;

$K$  = keberkonduksian hidraulik akuifer;

$I$  = Kecerunan hidraulik: Pertukaran turus ( $h$ ) air perunit panjang ( $s$ ) sepanjang laluan aliran

Kaedah lubang tunggal digunakan untuk menentukan halaju (halaju Darcy atau luahan tentu) dan arah air tanah. Kaedah ini melibatkan penyuntikan penyurih isotop buatan ke dalam lubang gerudi dan dari lubang yang sama diukur susutan kekekatannya mengikut masa. Hasilnya adalah merupakan fungsi dari aliran air tanah dalam lubang gerudi tersebut,

$$Q = \frac{V}{t} \ln \frac{C_0}{C} \quad (2)$$

$Q$  = kadar alir aliran air tanah dari lubang gerudi,

$V$  = isipadu air yang telah dilabel dengan penyurih isotop buatan,

$C_0$  = kepekatan air yang telah dilabel dengan penyurih isotop buatan pada masa  $t = 0$

C = kepekatan air yang telah dilabel dengan penyurih isotop buatan pada masa t.

t = masa

Pembinaan lubang gerudi menyebabkan berlakunya erotan kepada corak aliran air tanah asal. Oleh itu, hubungan luahan tentu  $V_w$  melalui lubang gerudi yang bergaris pusat  $2r_1$  dengan halaju Darcy  $V_f$  melalui akuifer adalah,

$$V_w = \alpha V_f \quad (3)$$

$\alpha$  = faktor erotan

Kadar alir air tanah Q melalui keratan rentas akuifer adalah,

$$Q = V_f F \quad (4)$$

F = luas keratan rentas akuifer

Apabila pengukuran dibuat di dalam lubang gerudi yang telah dilengkapi dengan selongsong selinder bersaring, padatan kelikir, *packers* yang menghadkan isipadu yang diukur, sistem peralatan yang mengandungi alat suntikan, alat penghomogenan dan alat pengesan yang dipasangkan dalam ruang isipadu pengukuran, maka persamaan di bawah boleh diperolehi untuk menentukan halaju ketara penyurih isotop buatan dalam air adalah seperti berikut (Drost, 1989):

$$V_f = \frac{\pi r_1}{2\alpha} \ln \frac{C_0}{C} \quad (5)$$

Dalam keadaan lubang gerudi yang tidak mempunyai padatan kelikir, nilai angkubah  $a$  dapat ditentukan seperti persamaan di bawah (Drost, 1983);

$$\alpha = \frac{4}{\left[1 + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right] + \frac{K}{K_1} \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right]} \quad (6)$$

K = Keberkonduksian hidraulik akuifer;

$K_1$  = keberkonduksian hidraulik selongsong bersaring;

$r_1$  = jejari dalaman selongsong bersaring; dan

$r_2$  = jejari luaran selongsong bersaring

Pada keadaan muka bumi yang terkonsolidat di mana lubang gerudi tidak mempunyai selongsong bersaring dan padatan kelikir, nilai angkubah  $a$  adalah sama dengan 2 ( $\alpha=2$ ).

## OBJEKTIF

Objektif utama kertas kerja ini adalah untuk menerangkan tentang penggunaan teknik nuklear dalam menentukan halaju dan arah aliran air tanah dalam beberapa contoh kawasan kajian.

## METODOLOGI DAN BAHAN KAJIAN

### Penentuan halaju air tanah

Kaedah penentuan aliran air tanah dilakukan dengan menggunakan sistem peralatan *RHEOMETER* (Rajah 1). Sistem peralatan ini pada dasarnya terdiri daripada lima bahagian iaitu kuar rheometer, kerangka kawalan rheometer, mudahalih, komputer dan pencetak. Kuar rheometer yang dimasukkan ke dalam lubang gerudi terdiri daripada selinder kalis air yang mengandungi tangki bermuatan 200 mililiter

untuk mengisi larutan penyurih isotop buatan, injap elektrik untuk menyuntik penyurih isotop buatan ke dalam sistem air tanah dan motor pengaduk untuk menghomogenkan penyurih tersebut. Kerangka kawalan rheometer pula dilengkapi dengan lima unit utama iaitu bekalan kuasa, kawalan penekan buka/tutup (*on/off*) motor, kawalan kelajuan motor, kawalan injap elektrik dan kawalan meter pembilang (DAMRI, 1994).

Halaju aliran air tanah boleh ditentukan secara *in-situ* di lapangan dengan cara memindahkan data hasil pemantauan yang direkodkan dalam pengelod data mudahalih ke dalam komputer peribadi. Komputer peribadi yang dilengkapi dengan perisian PRONTO dan PAKSAR yang menganalisa data tersebut dengan memaparkannya dalam bentuk graf eksponen (Rajah 2). Berdasarkan kepada graf tersebut diperolehi nilai halaju  $v_f$  dalam unit meter/hari dihitung daripada perbezaan kepekatan penyurih radioisotop daripada kepekatan  $C_0$  (kepekatan awal) pada masa  $t_0$  (masa mula pengukuran) sehingga mencapai nilai kepekatan  $C_t$  pada masa  $t$ .

### Penentuan arah aliran air tanah

Arah aliran air tanah daripada lubang gerudi boleh ditentukan secara pengukuran terus dengan menggunakan sistem pengukuran arah (Rajah 3). Turus air dalam lubang gerudi dilabelkan dengan larutan penyurih isotop buatan dalam julat antara 5-250 Mega Becquerel (MBq) dan ianya bergantung kepada kadar aliran air tanah dalam lubang gerudi yang dikaji. Taburan penyurih isotop buatan dalam air tanah di lubang gerudi diukur dengan menggunakan sistem pengesan kalis air yang dikelilingi oleh perisai plumbum yang dilengkapi dengan celah terkolimat. Arah aliran keluar larutan penyurih tersebut ke dalam akuifer akan memberikan taburan keradioaktifan yang tak simetri di sekeliling lubang gerudi (Easey, 1988).

Keradioaktifan yang tak simetri ini diperolehi dengan memutarakan pengesan setiap 15 minit mengikut arah putaran jarum jam dan diukur perubahan keradioaktifan yang berlaku berdasarkan kepada perubahan kedudukan celah terkolimat pada sudut tertentu sehingga 360° (Rajah 4). Sudut putaran yang memberikan bacaan keradioaktifan yang tinggi merupakan arah sebenar aliran air tanah (Easey, 1988).

## KAJIAN KES

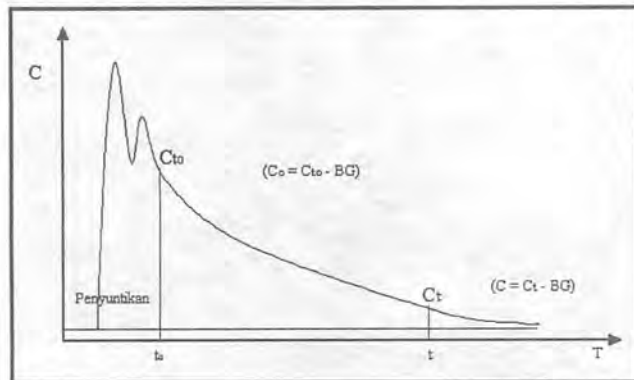
Teknik nuklear ini telah digunakan di beberapa kawasan kajian bagi menentukan corak laju dan arah pergerakan air tanah di kawasan tersebut.

### Kegagalan cerun di kawasan Klian Intan, Perak

Teknik nuklear ini telah digunakan untuk mengenalpasti faktor yang menyebabkan kegagalan cerun dan amblesan tanah yang berlaku di sekitar kuarer polis di Klian Intan, Perak. Beberapa lubang gerudi di sekitar kawasan tersebut telah digunakan untuk mengkaji arah dan kelajuan air tanah.



Rajah 1. Sistem rheometer untuk mengukur pergerakan air tanah.



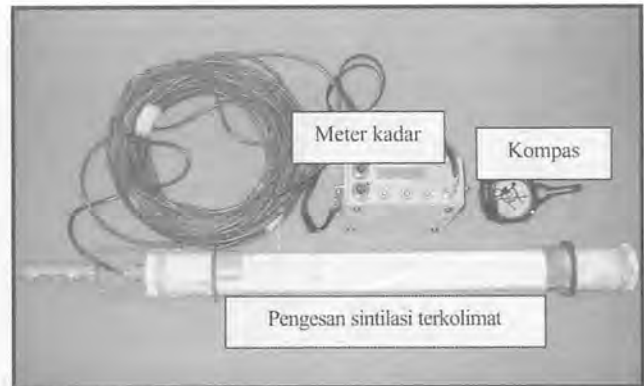
Rajah 2. Perubahan kepekatan penyurih radioaktif dengan masa (dipetik daripada DAMRI,1994).

Dari keputusan ujikaji didapati kelajuan air tanah di kawasan tersebut adalah agak tinggi iaitu 0.5-1.05 m/hari (Rajah 5). Nilai kelajuan pergerakan air tanah sebegini secara relatifnya adalah tinggi dan keadaan ini akan menyebabkan struktur tanah di kawasan tersebut tidak stabil. Keadaan cuaca seperti hujan akan menyebabkan air hujan meresap ke dalam tanah dan akan meningkatkan pergerakan air tanah dan keadaan tanah pada zone tak tepu juga agak lembap. Kandungan air yang banyak di dalam tanah terutamanya sewaktu hujan menyebabkan ikatan tanah menjadi longgar dan bila keadaan ini berterusan ditambah pula beban atas yang berat dan tidak stabil menyebabkan beban tersebut runtuh. Manakala Arah pergerakan air tanah di beberapa lubang gerudi didapati mengarah ke arah kawasan runtuh (Rajah 6).

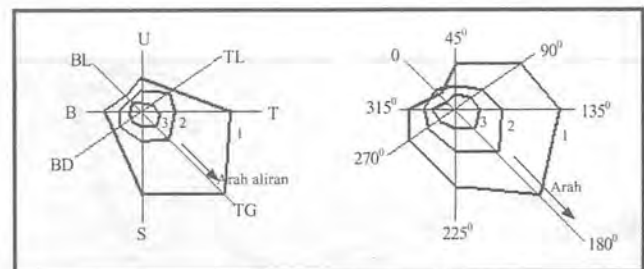
### Tanah runtuh di Paya Terubong, Sun Moon City, Pulau Pinang

Kajian sama juga telah dilakukan di kawasan Paya Terubong pada tahun 1999 di mana terjadinya tanah runtuh di kawasan tersebut. Sun Moon City, Paya Terubong terletak kira-kira 30 km dari Georgetown. Topografi kawasan ini adalah dalam julat 125 meter hingga 250 meter dari aras laut. Kawasan ini dilitupi dengan tanah granit

May 2003



Rajah 3. Sistem pengesan turus arah untuk mengukur arah aliran air tanah.

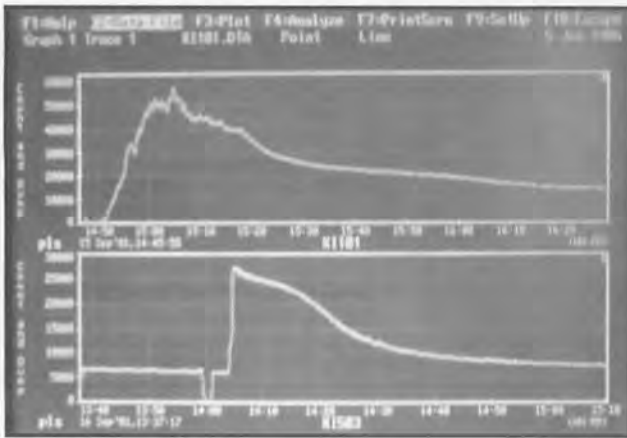


Rajah 4. Koordinat pola untuk menentukan arah aliran air tanah (dipetik daripada Gaspar, 1987).

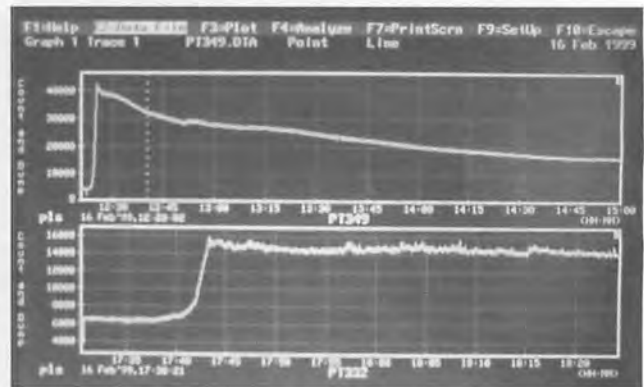
dengan terdapat bongkah-bongkah granit pelbagai saiz. Tanah baki granit ini terdiri dari pasir berlodak dengan kandungan kerikil yang merupakan akuifer bagi kawasan tersebut. Berdasarkan kepada kajian yang telah dilakukan, struktur tanah di kawasan tersebut tidak stabil terutamanya pada musim hujan. Teknik nuklear ini telah digunakan untuk membantu mengenalpasti perilaku air tanah di sekitar kawasan tersebut. Berdasarkan kepada keputusan kajian, kelajuan air tanah di kawasan tersebut adalah 0.4 m/hari manakala arah alirannya menuju ke kawasan yang runtuh (Rajah 7 dan 8)

### Migrasi bahan pencemaran di tapak pelupusan sistem terbuka Gemencheh, Negeri Sembilan

Kajian kelakuan air tanah ini juga telah dijalankan ke atas kawasan tapak pelupusan sisa buangan. Tujuan utama kajian ini untuk menentukan arah pergerakan pencemaran air tanah semasa kering dan juga bila berlakunya hujan. Halaju air tanah yang mengalir di bawah timbunan sisa domestik adalah turun naik dan tidak seragam iaitu didalam julat antara minimum 0.2 meter/hari dan maksimum 8.0 meter/hari. Dari nilai halaju ini dapat dirumuskan bahawa ketertelapan di tapak kajian juga mempunyai nilai turun naik yang sangat besar iaitu antara  $7.7 \times 10^{-5}$  meter/saat dan  $3.0 \times 10^{-3}$  meter/saat. Nilai ketertelapan ini menunjukkan bahawa medium di tapak kajian adalah terdiri dari sedikit kerikil, pasir, pasir sangat halus, pasir berlodak dan campuran antara pasir, lodak serta lempung. Medium



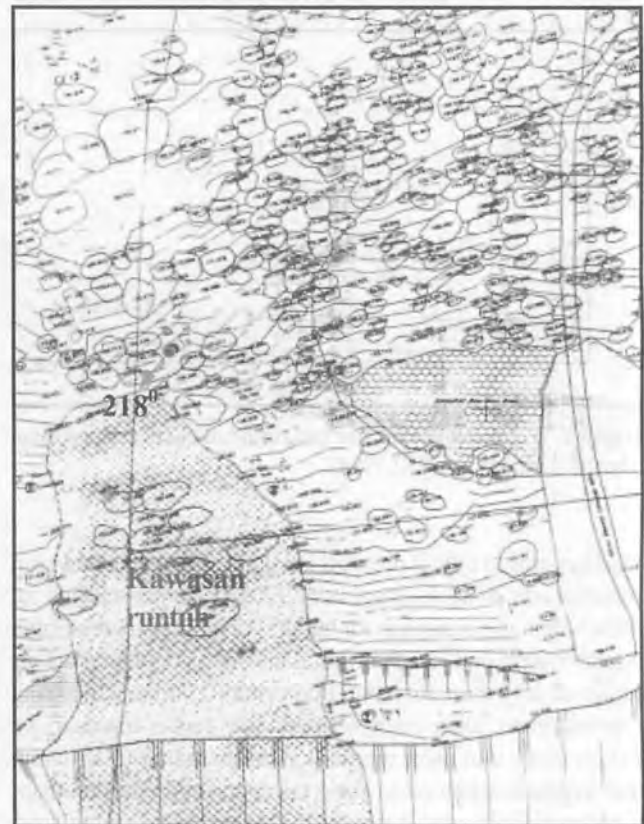
Rajah 5. Graf eksponen kelajuan pergerakan air tanah di Klian Intan.



Rajah 7. Graf eksponen kelajuan pergerakan air tanah di Paya Terubong.



Rajah 6. Arah pergerakan air tanah di kawasan kajian.



Rajah 8. Arah pergerakan air tanah di Paya Terubong.

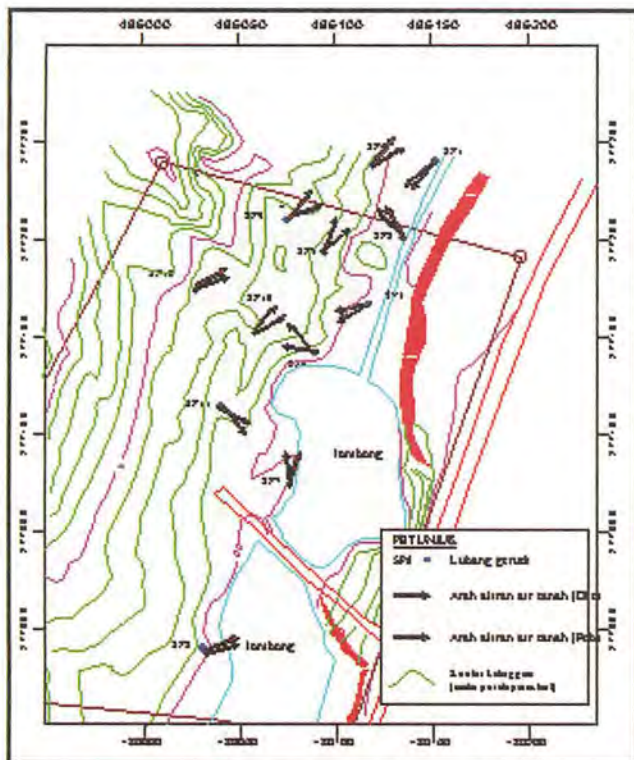
seumpama ini adalah merupakan akuifer yang kurang baik (Freeze and Cherry, 1979; Todd, 1980).

Selain daripada faktor medium, halaju air tanah juga dipengaruhi oleh aliran air lombong dan aliran anak sungai yang mengaruh kecerunan hidraulik. Kawasan-kawasan yang berhampiran dengan lombong dan anak sungai iaitu SP1, SP2, SP3, SP6, SP7 dan SP8, halaju air tanah adalah lebih tinggi jika dibandingkan dengan halaju air tanah di kawasan-kawasan yang jauh dari lombong dan anak sungai. Walaupun pada umumnya aliran air tanah serantau mengarah ke timur tetapi pada keseluruhannya aliran air tanah di tapak kajian akhirnya mengarah ke timur laut

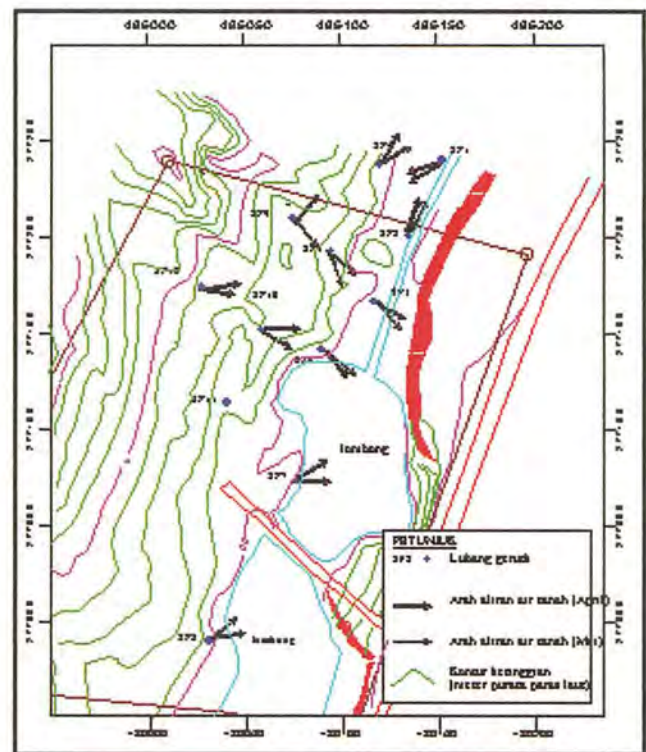
mengikut arah aliran air permukaan. Arah aliran air tanah juga dipengaruhi oleh keadaan hidrogeologi setempat iaitu anak sungai dan lombong. Keadaan ini lebih menonjol di lubang gerudi SP7 dimana akibat pengaruh dari aliran air lombong arahnya sentiasa berubah-ubah mengikut musim (Rajah 9 dan 10).

### RUMUSAN

Teknik nuklear merupakan teknik saintifik yang agak baru dan dapat memberikan maklumat hidrogeologi yang lengkap di mana data-data yang diperolehi menggambarkan



Rajah 10. Arah aliran air tanah ketika musim hujan.



Rajah 9. Arah aliran air tanah ketika cuaca panas.

corak aliran air tanah yang terperinci terutamanya kelajuan dan arah aliran air tanah. Teknik ini telah berjaya membuktikan beberapa perkara yang berkaitan dengan masalah dan perilaku air tanah yang tak dapat diselesaikan secara konvensional.

## RUJUKAN

- DAMRI, 1994. *Rheometer specifications*. Note techniques Departement des Applications et de la Metrologie des Rayonnements Ionisants (DAMRI)/Service D'Applications des Radioelements (SAR)/S/94-421.
- DROST, J.W., 1983. *Single well techniques. Tracer methods in isotope hydrology*. IAEA Technical Report.
- DROST, J.W., 1989. *Single-well and multi-well nuclear tracer techniques: A critical review*. Technical Document in Hydrology, UNESCO, Paris, 51-54.
- EASEY, J.F., 1988. *Investigation of groundwater movement near piezometer 2609, Wakool Evaporation Basin*. Report submitted to the New South Wales Department of Water Resources (tidak diterbitkan).
- FREEZE, R.A AND CHERRY, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- GASPAR, E., 1987. *Modern trends in tracer hydrology, Vol. II*, Boca Raton, Fla. CRC Press.
- KAMARUDIN SAMUDING, MOHD TADZA ABD. RAHMAN, JUHARI YUSOF, PASUPATHI ELLAKAVENDAN AND JUHARI LATIFF, 2001. *Groundwater Study at Klian Intan Police Quarters Area By Radiotracer Method* (Technical Report to IKRAM).
- MARGRITA, R. AND GAILLARD, B., 1991. Use of artificial tracers for the determination of aquifer parameters. *In Use of artificial tracers in hydrology*. Proceedings of an Advisory Group Meeting, Vienna. IAEA-TECDOC-601, 131-156.
- MOHD TADZA, 2001. *Kajian migrasi bahan pencemaran dan kesan ke atas system air tanah di tapak pelupusan sisa domestik Gemencheh, Negeri Sembilan dengan paduan kaedah nuklear, geofizik dan hidrogeokimia*. Tesis Ijazah Doktor Falsafah, Jabatan Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia (tidak diterbitkan).
- TODD, D.K., 1980. *Groundwater Hydrology*. New York, N.J. Wiley.

Manuscript received 14 February 2003

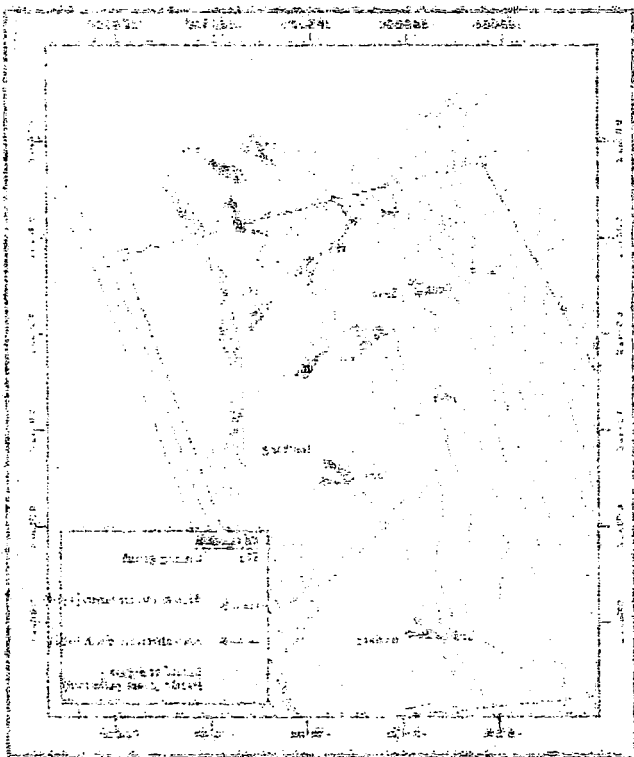


Figure 1. Map of the United States showing flight paths.

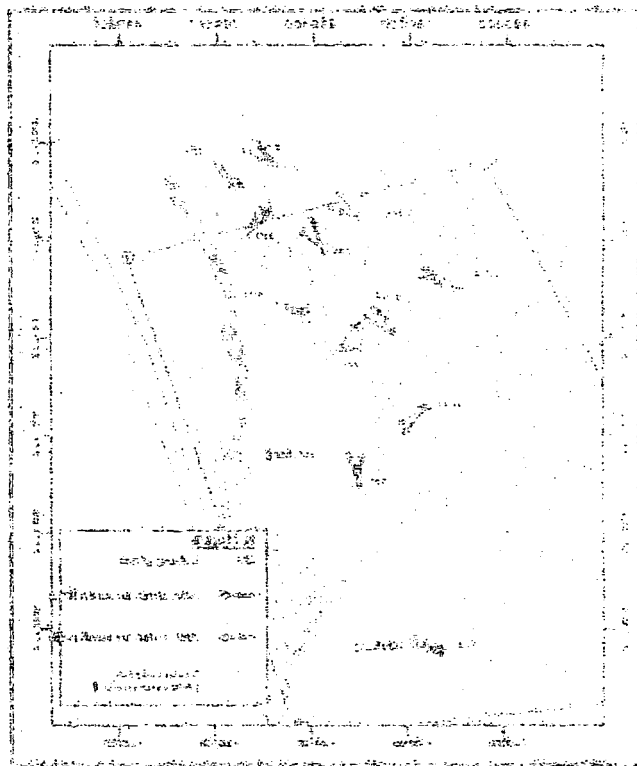


Figure 2. Map of the United States showing flight paths.

The flight paths shown in the maps are based on data collected from various sources, including pilot reports and ground-based observations. The paths are plotted on a coordinate grid to show their geographic distribution. The legend in the bottom-left corner of each map provides a key to the symbols used, ensuring that the information is easily interpretable. The maps illustrate the density and direction of flight activity across the country, with a notable concentration in the eastern and central United States.

The flight paths shown in the maps are based on data collected from various sources, including pilot reports and ground-based observations. The paths are plotted on a coordinate grid to show their geographic distribution. The legend in the bottom-left corner of each map provides a key to the symbols used, ensuring that the information is easily interpretable. The maps illustrate the density and direction of flight activity across the country, with a notable concentration in the eastern and central United States.

REFERENCES

- 1. National Bureau of Aeronautics, "Flight Paths in the United States," Report No. 1, 1950.
- 2. Federal Aviation Administration, "Aeronautical Information Manual," 1955.
- 3. Department of Defense, "Military Operations in the United States," 1960.
- 4. National Aeronautics and Space Administration, "Space Flight Paths," 1965.
- 5. National Weather Service, "Weather Data for Flight Paths," 1970.