

Contoh penggunaan kaedah kerintangan geoelektrik untuk penjelajahan bawah tanah

ABDUL GHANI RAFEK
Universiti Kebangsaan Malaysia
Bangi

Sinopsis : Kaedah kerintangan geoelektrik merupakan suatu kaedah geofizis yang membolehkan penentuan keadaan bawah dengan pengukuran di permukaan bumi. Untuk kaedah ini terdapat dua aturcara pengukuran, iaitu pengukuran kerintangan geoelektrik duga dalam dan pemetaan atau pemprofilan kerintangan geoelektrik mendatar.

Pemetaan kerintangan geoelektrik mendatar diperlaksanakan di suatu kawasan batu kapur yang telah mengalami kars untuk memastikan keberkesanan kaedah tersebut bagi menentukan kedudukan zon-zon kars. Susunan elektrod yang berbeza dengan jarak elektrod yang berlainan digunakan. Susunan elektrod yang digunakan adalah (1) dwikutub ganda dua (linear) (2) Schlumberger setengah (3) Wenner setengah dan (4) Wenner. Susunan dwikutub ganda dua (linear) didapati amat sesuai untuk mengesan sempadan kawasan kars dan menentukan saiz zon-zon tersebut. Kawasan kars yang diisi oleh bahan bumi longgar dicirikan oleh nilai kerintangan ketara yang rendah.

Synopsis: The geoelectrical resistivity method is one of the geophysical methods that enables the determination of subsurface conditions with measurements on the surface of the earth. There are two basic methods of conducting surveys, the vertical geoelectrical resistivity sounding measurements and the horizontal geoelectrical resistivity profiling or mapping.

Geoelectrical resistivity profiling was carried out in a limestone area which had undergone karstification to determine the effectiveness of this method in detecting the karstified zones. Various electrode arrays with different electrode spacing were used. The following arrays were used: (1) double dipole (linear) array (2) half-Schlumberger array (3) half-Wenner array (4) Wenner array. The double dipole (linear) array turned out to be most effective in detecting and determining the size of karstified zones. Karstified zones which are filled with loose earth materials are characterised by low apparent resistivity values.

PENGENALAN

Asas kaedah kerintangan geoelektrik adalah pengukuran perbezaan keupayaan yang disebabkan oleh arus elektrik yang mengalir di antara dua titik di mana pengukuran keupayaan dilakukan. Untuk sesuatu punca titik yang berada dalam medium semi tak terhingga yang homogen, kerintangan spesifik diberi oleh rumus:

$$\rho = 2r \frac{V}{I} \quad \text{di mana}$$

V = keupayaan

I = arus dan,

r = jarak antara titik atau elektrod keupayaan dan arus.

Rumus ini boleh direngkaskan kepada $\rho = \frac{V}{I} k$ dan berupa penyelesaian persamaan Laplace..

Lazimnya untuk kerja-kerja pengukuran kerintangan geoelektrik, empat elektrod digunakan dan faktor k bergantung kepada susunan atau peraturan elektrod. Untuk empat elektrod, di mana A dan B adalah elektrod arus dan M dan N adalah elektrod keupayaan, pertimbangan berikut membolehkan penentuan kerintangan spesifik, ρ :

Keupayaan yang disebabkan oleh arus daripada A di titik M

$$V_{MA} = \frac{I\rho}{2\pi r_1}$$

di mana $r_1 = |\overline{AM}|$, nilai mutlak jarak AM

Untuk keupayaan daripada B, di titik M

$$V_{MB} = -\frac{I\rho}{2\pi r_2}$$

di mana $r_2 = |\overline{BM}|$, nilai mutlak jarak BM.

Cara yang sama boleh digunakan untuk menentukan keupayaan di titik N yang disebabkan oleh pengaliran arus daripada A ke B.

Perbezaan keupayaan antara MN:

$$U = \Delta V = V_M - V_N = (V_{MA} + V_{MB}) - (V_{NA} + V_{NB})$$

$$U = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]$$

$$\rho = \frac{U}{I} \left[2\pi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \right]$$

Sebutan di dalam kurungan ialah faktor k atau faktor susunan.

Untuk penyiasatan struktur-struktur geologi bawah tanah dengan kaedah kerintangan geoelektrik arus terus, dua kaedah pengukuran digunakan iaitu:

- (a) duga dalam kerintangan tegak dan
- (b) pemetaan kerintangan mendatar atau pemprofilan kerintangan mendatar.

Kaedah duga dalam kerintangan diguna untuk menentukan perubahan kerintangan dengan kedalaman. Ada beberapa kaedah pentafsiran piawai yang membolehkan perhitungan taburan kerintangan spesifik lapisan bawah tanah untuk kaedah ini. Pemetaan kerintangan mendatar atau pemprofilan kerintangan mendatar melibatkan penentuan perubahan kerintangan ketara, pa secara lateral. Untuk kaedah ini, tidak ada teknik pentafsiran piawai seperti untuk kaedah duga dalam, dan hasil pemetaan kerintangan mendatar cuma ditafsirkan secara kualitatif.

Beberapa susunan elektrod boleh digunakan untuk kerja-kerja pengukuran kerintangan geoelektrik (Rajah 1). Pada dasarnya, sebarang susunan elektrod boleh digunakan untuk kedua-dua cara pengukuran kerintangan. Lazimnya susunan Schlumberger digunakan untuk duga dalam kerintangan dan susunan Wenner untuk pemetaan kerintangan.

MATLAMAT DAN SKOP KAJIAN

Untuk pemetaan kerintangan, susunan-susunan elektrod yang dipilih mempengaruhi hasil yang diperolehi. Rajah 2 menunjukkan lengkung-lengkung teori untuk empat susunan elektrod pada satu sempadan tegak dengan perbezaan kerintangan $\rho_2 = 4\rho_1$. Ketajaman anomali yang berbeza didapati pada sempadan tersebut untuk susunan berlainan. Kajian oleh penyiasat lain, umpamanya Brass *et al.* (1981) dan Verma *et al.* (1980) juga menunjukkan pengaruh susunan elektrod atas hasil pemetaan kerintangan bagi keadaan geologi yang berbeza.

Matlamat kajian yang dibincangkan di sini adalah untuk membandingkan hasil pemetaan kerintangan dengan susunan elektrod yang berbeza. Susunan elektrod yang dipilih ialah susunan dwikutub ganda dua (linear), susunan Wenner, susunan Schlumberger setengah dan susunan Wenner setengah (Rajah 2). Pemetaan kerintangan dilakukan untuk mengesan dan memetakan kawasan kars dalam batu kapur Devon Tengah di bahagian utara "Rheinischen Schiefergebirge" Jerman Barat (Abdul Ghani Rafek, 1985). Batu kapur ini membentuk sebahagian antiklin Remschied-Altenaer dan telah mengalami pengkarsan pada masa Tertier bila rantau ini beriklim panas dan lembab. Oleh kerana batuan tersebut merupakan satu bahan mentah industri tempatan yang penting dan dikuarikan, maka penentuan kedudukan dan keluasan kawasan kars adalah satu perkara penting dalam pengkuarian batu kapur ini.

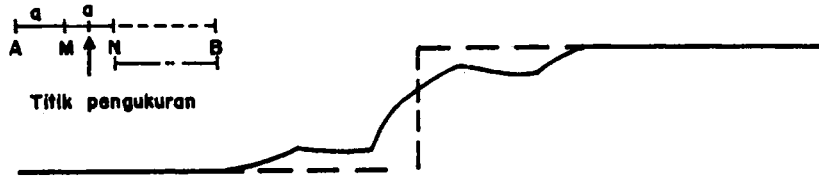
HASIL KAJIAN

Rajah 3 menunjukkan keadaan singkapan batu kapur di satu permukaan kuari di Balve. Kawasan yang telah mengalami pengkarsan terdiri daripada puncak-puncak batu kapur dan ruang di antara puncak-puncak tersebut terisi oleh bahan bumi longgar. Batu kapur di dalam kompleks dolin mempunyai keamatan satah ketakselajaran yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan batu kapur di luar kawasan tersebut. Permukaan kuari ini boleh dianggapkan

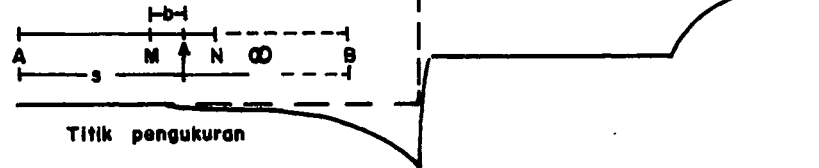
Susunan	Geometri	Faktor k
	<p>— Profil AB Elektrok arus (o)</p> <p>• Titik pengukuran MN Elektrod keupayaan (x)</p>	
Schlumberger (A-MN-B)		$\frac{\pi}{2b} (s^2 - b^2)$
Schlumberger setengah Hummel (A-MN-B)		$\frac{\pi}{b} (s^2 - b)$
Wenner (AMNB)		$2\pi a$
Dwikutub ganda dua (linear)		$\pi a N(N+1)(N+2)$
Wenner setengah (AMN.....B)		$4\pi a$

Rajah 1: Susunan elektrod dan faktor k untuk kaedah kerintangan geoelektrik

Susunan Wenner setengah



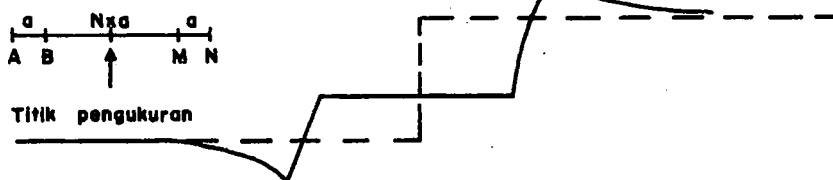
Susunan Schlumberger setengah



Susunan Wenner



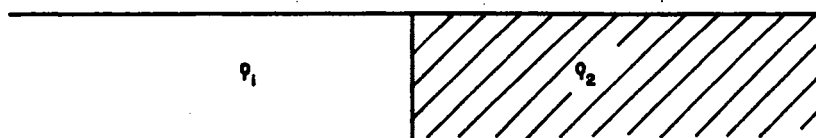
Susunan Dwikutub ganda dua (linear)



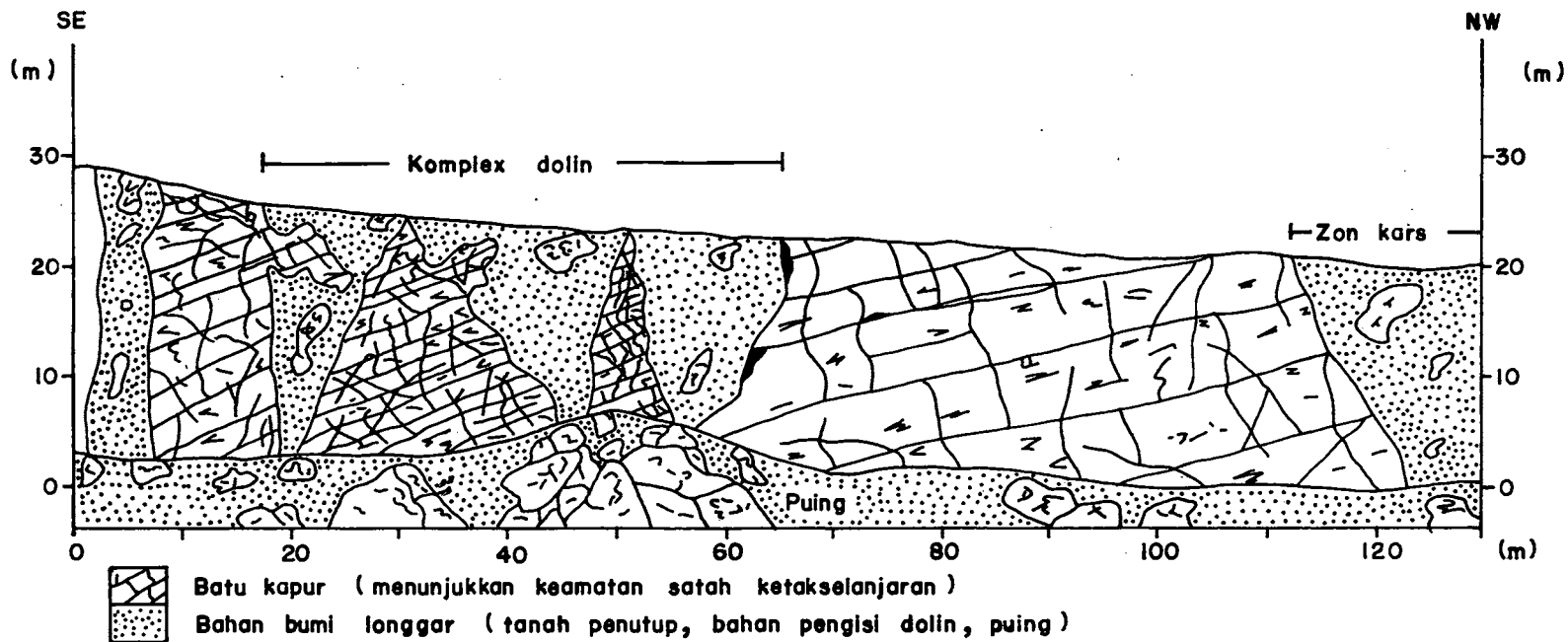
AB: Elektrod arus

MN: Elektrod keupayaan

$$\rho_2 = 4\rho_1$$



Rajah 2: Lengkung teori untuk susunan elektrod berbeza pada satu sempadan tegak



Rajah 3: Keadaan singkapan batu kapur di Balve.

sebagai suatu keratan geologi semulajadi dan perkara yang perlu disiasat adalah lanjutan zon-zon kars ke arah mendalam daripada permukaan kuari ini.

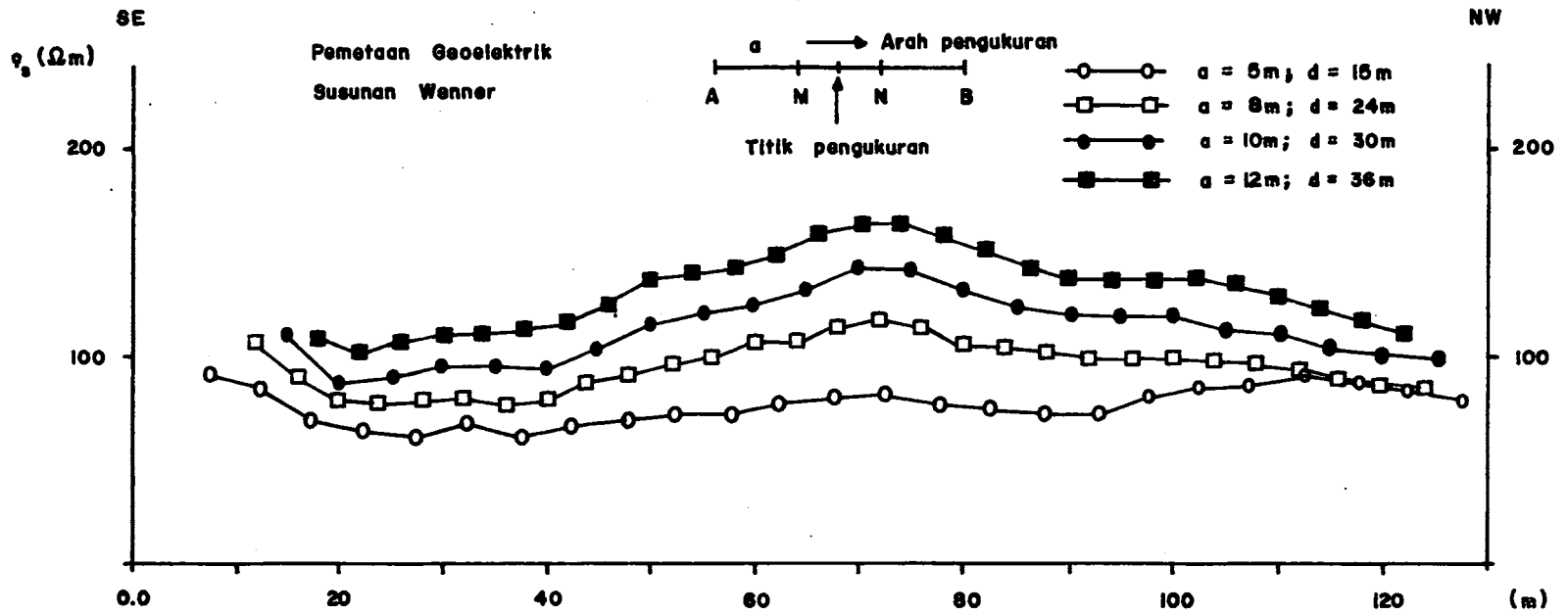
Beberapa pemetaan kerintangan geoelektrik diperlaksanakan dengan susunan elektrod dan jarak elektrod yang berbeza. Jarak elektrod yang berbeza membolehkan kedalaman penusukan yang berbeza dicapai. Jarak yang lebih panjang memberi kedalaman penusukan yang lebih tinggi tetapi jarak panjang tidak menunjukkan ketakhomogenan yang berdekatan dengan permukaan bumi kerana sifat pengamir pengukuran geoelektrik. Jarak daripada permukaan kuari yang dipilih adalah cukup jauh supaya syarat medium semi tak terhingga dipenuhi dan profil-profil tersebut adalah selari dengan permukaan kuari. Rajah 4-6 menunjukkan hasil pemetaan kerintangan yang diperlaksanakan.

Pemetaan kerintangan dengan mengguna susunan Wenner (Rajah 4) untuk jarak elektrod yang berbeza tidak begitu menggalakkan walaupun susunan ini biasanya disyorkan untuk kajian permetaan. Sempadan pengkarsan dan zon kars tidak dapat dikenali.

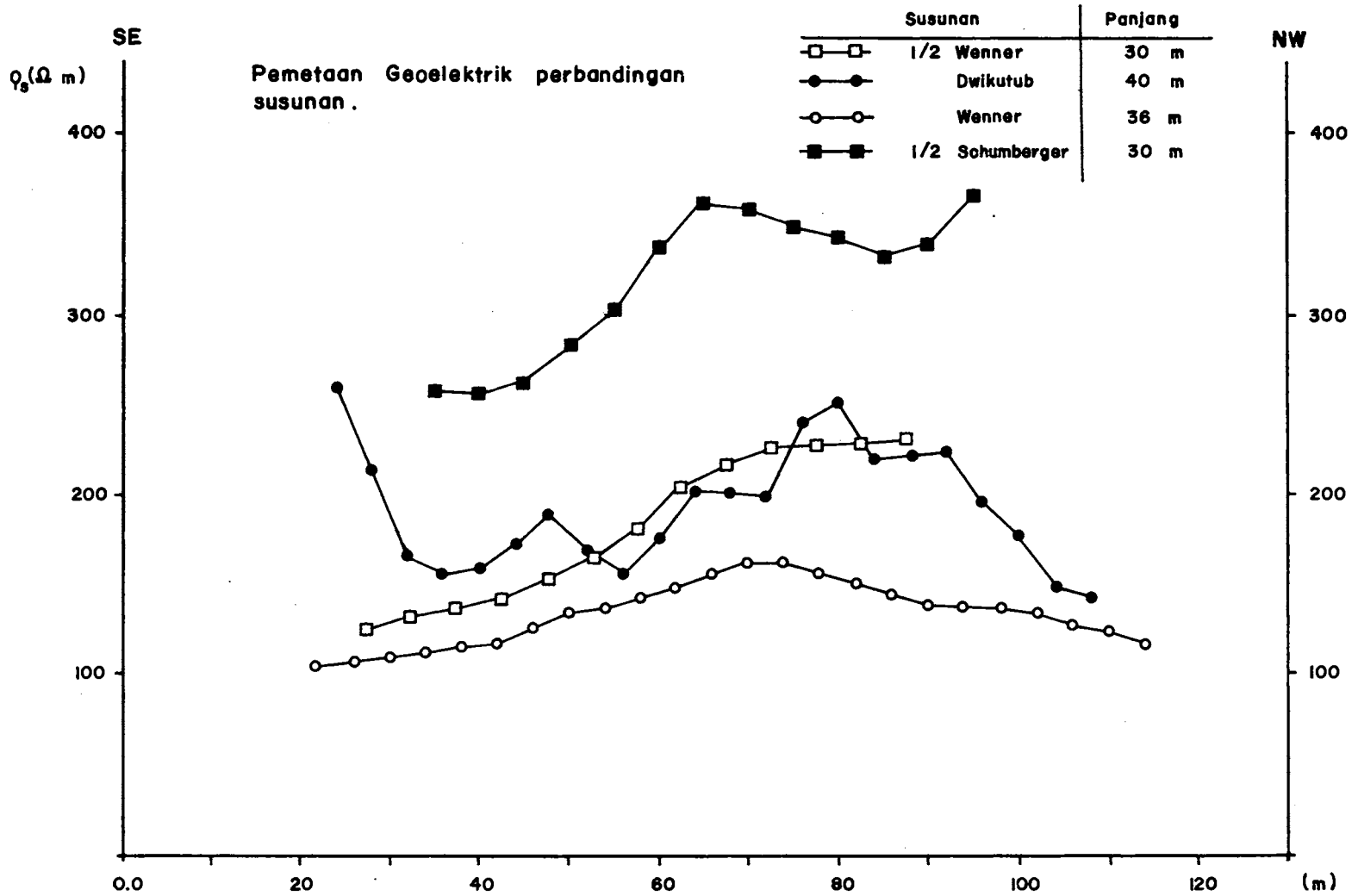
Rajah 5 mempersembahkan hasil pemetaan kerintangan dengan menggunakan susunan elektrod yang berlainan. Lengkung-lengkung yang berlainan didapati. Pemetaan dengan susunan dwikutub ganda dua (linear) menunjukkan sempadan-sempadan pengkarsan dengan tajam dan zon kars sebagai kawasan nilai kerintangan ketara yang lebih rendah. Susunan Schlumberger setengah juga menunjukkan sempadan pengkarsan, diikuti oleh susunan Wenner setengah. Susunan Wenner tidak memberi sesuatu hasil yang jelas.

Rajah 6 menunjukkan hasil pemetaan kerintangan untuk susunan dwikutub ganda dua (linear) dengan jarak elektrod yang berbeza untuk mencari jarak elektrod yang amat sesuai untuk mengesan sempadan pengkarsan dan zon kars. Untuk kes ini, pemetaan dengan jarak elektrod, $d = 32$ m dan $d = 40$ m menghasilkan keputusan yang baik. Sempadan di antara zon kars yang mengandungi bahan bumi longgar dan batu kapur dapat ditentukan dan zon kars sendiri dipetakan sebagai zon kerintangan ketara rendah. Hasil pemetaan yang dijalankan menunjukkan susunan dwikutub ganda dua (linear) adalah sesuai untuk mengesan dan memetakan zon kars dalam batu kapur.

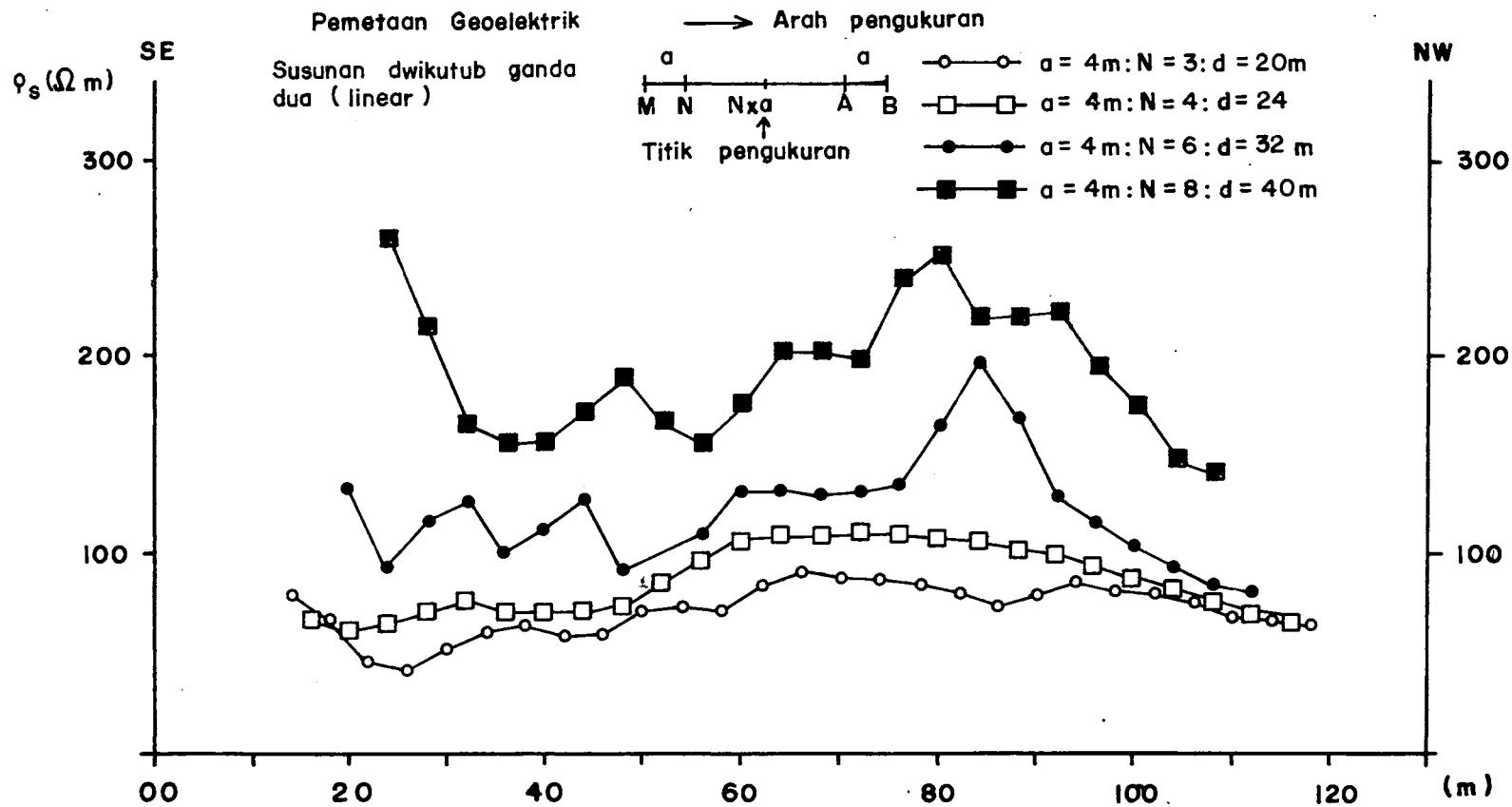
Rajah 7 menunjukkan singkapan sesuatu dolin dalam kawasan batu kapur yang sama. Dolin tersebut mempunyai kelebaran lebih kurang 30 m dibahagian atasnya dan kedalaman 20 m. Untuk menentukan lanjutan dolin ini, satu pemetaan keluasan dilakukan dengan menggunakan susunan elektrod dwikutub ganda dua. Ujian yang dilakukan sebelum pemetaan keluasan menunjukkan jarak elektrod, $d = 20$ m ($a = 4$ m, $N = 3$) adalah sesuai untuk mengesan sempadan pengkarsan. Ini adalah kerana lapisan penutup di kawasan ini tidak begitu tebal. Untuk pemetaan keluasan, tiga belas profil sepanjang 100 m tiap-tiap



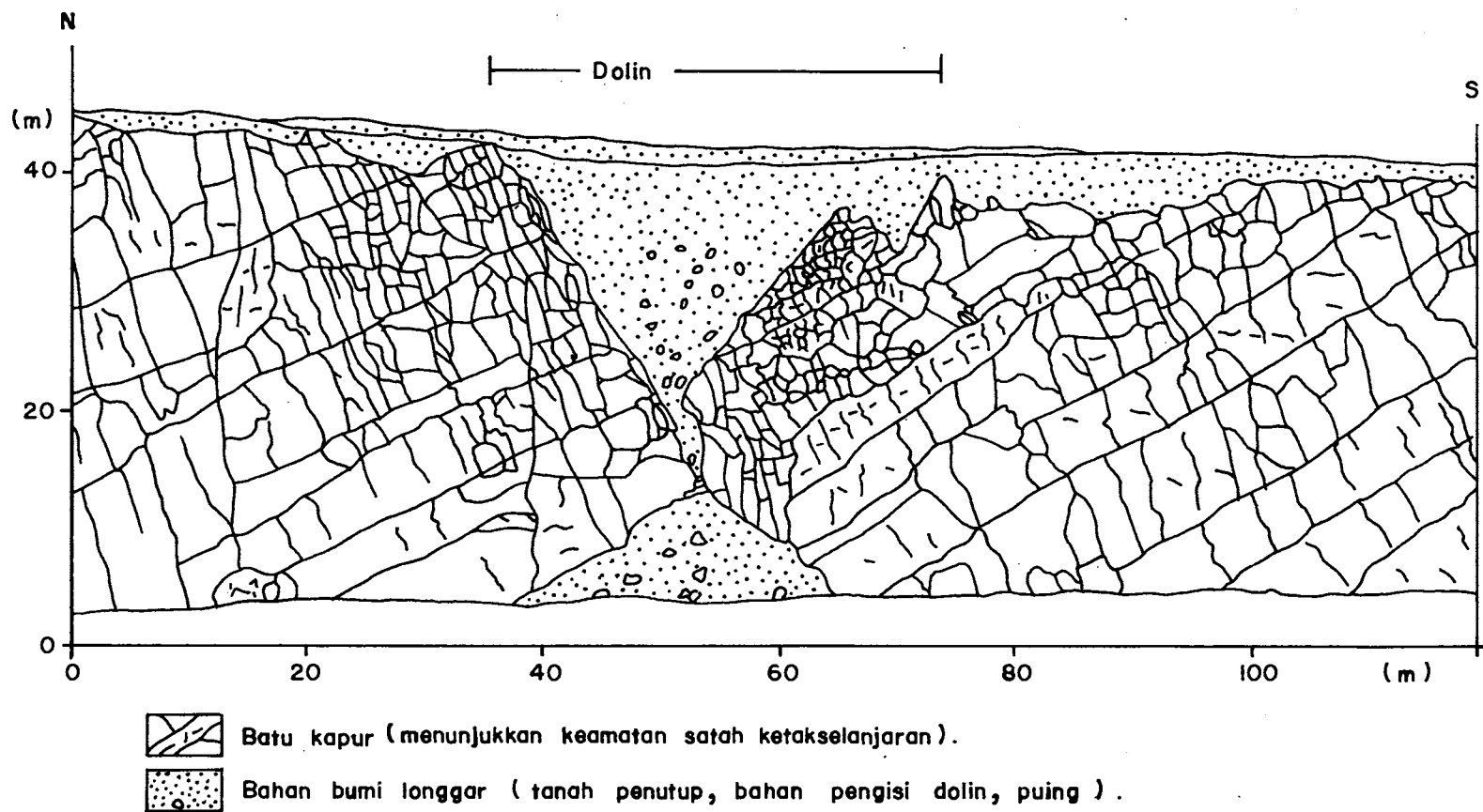
Rajah 4: Pemetaan kerintangan geoelektrik dengan susunan Wenner.



Rajah 5: Pemetaan kerintangan geoelektirk dengan susunan berbeza.



Rajah 6: Pemetaan kerintangan geoelektrik dengan susunan dwikutub ganda dua (linear)



Rajah 7: Singkapan Dolin dalam batu kapur.

satu dengan jarak 4 m di antara setiap profil diukur. Taburan nilai kerintangan ketara dalam bentuk tiga matra ditunjuk dalam Rajah 8. Kawasan nilai kerintangan ketara rendah (kurang daripada 80 ohm-m.) adalah kawasan pengkarsan yang diisi oleh bahan bumi longgar. Nilai kerintangan ketara sederhana (dari 60 m hingga 100 m) berupa zon batu kapur longgar dengan jarak ketakselanjaran sederhana, sambil nilai-nilai yang tinggi (di antara 0 m hingga 30 m) adalah kawasan batu kapur segar dan padat dengan jarak ketakselanjaran yang tinggi.

Keadaan asimetri yang dicerapkan di permukaan kuari dicerminkan oleh nilai-nilai kerintangan ketara.

KESIMPULAN

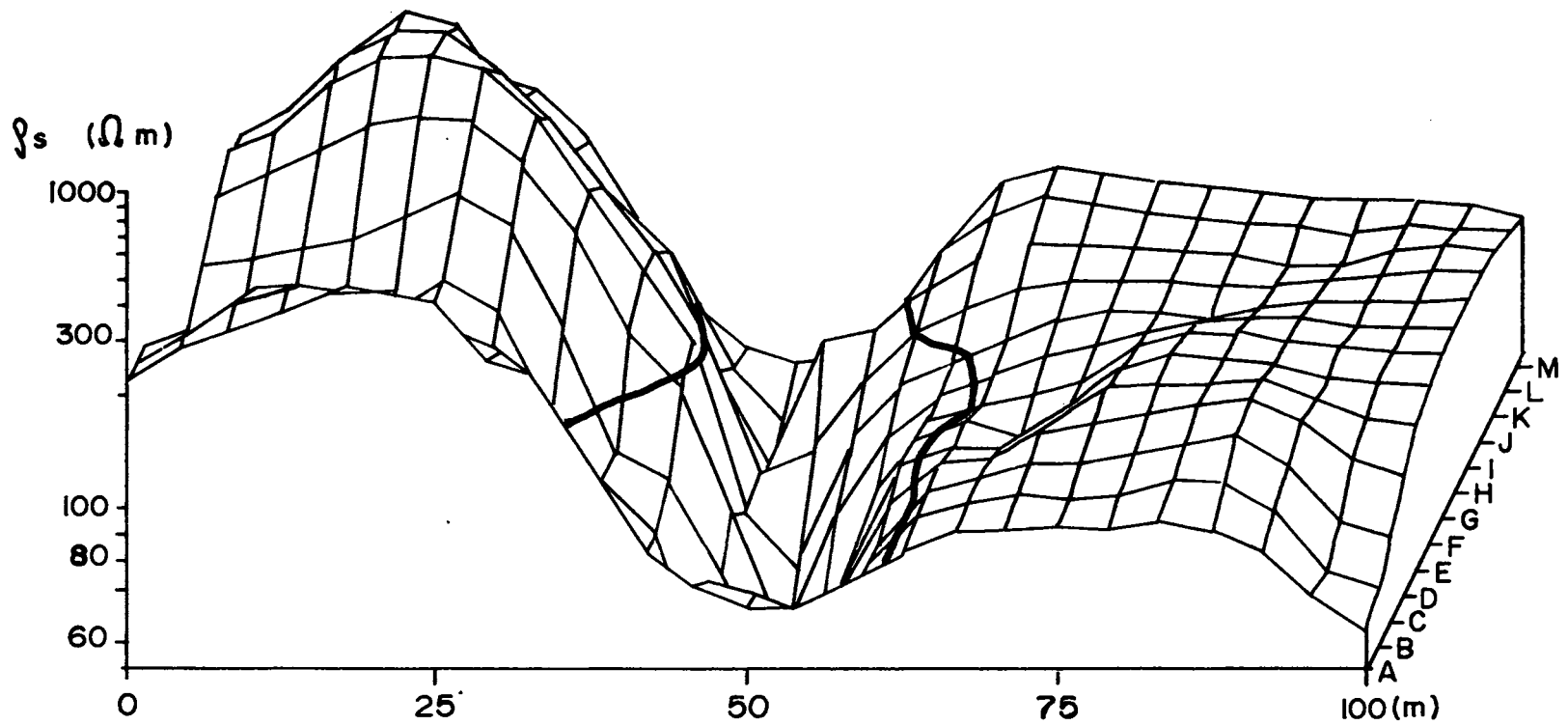
Pemetaan kerintangan mendatar yang diperlaksanakan di kawasan kars dalam batu kapur menunjukkan bahawa susunan dwikutub ganda dua (linear) amat sesuai untuk mengesan sempadan kawasan kars dan menentukan saiz zon-zon tersebut. Kawasan kars yang diisi oleh bahan longgar dicirikan oleh nilai kerintangan ketara yang rendah. Susunan Wenner yang lazimnya disyorkan untuk kerja-kerja pemetaan kerintangan tidak dapat mengesan kawasan kars. Susunan Schlumberger setengah dan Wenner setengah dapat mengesan sempadan kawasan kars tetapi tidak sebaik susunan dwikutub ganda dua (linear).

Untuk penganggaran kuari, pemetaan kerintangan mendatar dengan susunan elektrod dwikutub ganda dua (linear) boleh digunakan untuk menentukan lokality kawasan pengkarsan. Kaedah penjelajahan lain termasuk pengerudian boleh digunakan untuk penentuan keluasan dan bentuk pengkarsan supaya penganggaran isipadu simpanan batu kapur sesuatu kawasan dapat dilakukan.

PENGHARGAAN

Kajian ini berupa satu hasil kerja penyelidikan yang dilakukan di Republik Persekutuan Jerman dengan biasiswa Perkhidmatan Pertukaran Akademik Jerman (German Academic Exchange Service) di Universiti Ruhr, Bochum. Penulis merakamkan terima kasihnya kepada penyelia-penyelia beliau, Prof. Dr. Ing. K.W. John dan Prof. Dr. L. Dresen atas sokongan mereka dan rakan sekerja atas pertolongan mereka semasa di Bochum.

Penulis juga merakamkan terima kasihnya kepada rakan sekerja beliau di Jabatan Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia atas galakan dan pertolongan mereka untuk menyediakan kertas kerja ini.



Rajah 8: Taburan nilai kerintangan ketara dalam bentuk tiga matra untuk pemetaan keluasan

RUJUKAN

- ABDUL GHANI RAFEK, 1985. Penentuan kualitatif anisotropi jasad batuan dengan menggunakan kaedah biasan seismik. *Sains Malaysiana* 14(1) ms. 153-172.
- BRASS, G., H. FLATHE & R. SCHULZ, 1981. Resistivity profiling with different electrode arrays over a graphite deposit. *Geophysical Prospecting* 29, ms. 589-600.
- VERMA, R.K., N.C. BHUIN & C.V. RAO, 1980. Use of electrical resistivity methods for the study of some faults in the Jharia Coalfield, India. *Geoprospection* 18, ms. 201-220.

Manuskrip diterima 16th Jun 1988.