



## DETEKSI ALIRAN AIR DALAM MEDIA PORI PEMODELAN FISIK DENGAN METODE SELF-POTENSIAL

<sup>1,3</sup>Muhammad Hamzah, S., <sup>1</sup>Djoko, S., <sup>1</sup>Wahyudi, W.P., <sup>2</sup>Budi, S.

<sup>1</sup>Department Geophysics Engineering ITB, <sup>2</sup>Department Mining Engineering ITB, <sup>3</sup>Physics Department, Hasanuddin University Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia. e-mail : [hamzah@fmipa.unhas.ac.id](mailto:hamzah@fmipa.unhas.ac.id)

### ABSTRAK

Dalam studi ini telah dilakukan pemodelan fisik untuk mendeteksi aliran air dalam medium berpori menggunakan metoda self-potensial (SP). Pemodelan fisik dilakukan untuk memetakan distribusi anomali SP di permukaan yang menggambarkan pergerakan air di bawah permukaan. Potensial elektrokinetik (PE) atau *streaming potential* adalah potensial yang dibangkitkan oleh aliran air dalam medium berpori sedangkan anomali SP adalah potensial yang terukur di permukaan yang disebabkan oleh PE. Oleh karena itu, hasil pemetaan distribusi SP di permukaan dapat diperkirakan dimana debit aliran air yang besar dan ke mana arah air itu mengalir. Hasil pemodelan fisik dapat diketahui bahwa aliran air yang masuk ke dalam medium pori adalah mengikuti kontur anomali SP yang terukur di permukaan. Jika semakin besar anomali SP maka aliran air di lokasi itu semakin besar. Sedangkan arah aliran air adalah garis tanda panah yang tegak lurus dengan kontur SP.

**Keywords:** anomali SP, potensial elektrokinetik, medium berpori

### 1. PENDAHULUAN

Metoda *self-potential* (SP) adalah merupakan metoda eksplorasi sumber daya alam (SDA) yang digunakan dalam geofisika. Metoda potensial diri (SP) yang juga dikenal dengan *natural potential* (NP) adalah salah satu metoda dalam metoda geolistrik. Ada beberapa SDA yang telah berhasil dieksplorasi dengan metoda SP. Sebagai contoh, adalah eksplorasi geotermal, eksplorasi mineral, geokimia, *hydrobiological*, survei lingkungan dan lain-lain. Akhir-akhir ini metoda SP banyak dikembangkan untuk eksplorasi air tanah atau *groundwater*. Salah satu potensial alami (*natural potential*) atau *self-potential* (SP) adalah potensial elektrokinetik yang biasa juga disebut *streaming potential*. Mekanisme yang terjadi sehingga muncul potensial elektrokinetik adalah berkaitan dengan perembesan air dalam medium berpori. Oleh karena itu, potensial elektrokinetik dapat digunakan untuk eksplorasi perembesan air tanah (*groundwater*). Eksplorasi air tanah dengan potensial elektrokinetik adalah merupakan teknik yang baru dalam geofisika (Kim, dkk., 2004). Ada beberapa penelitian yang telah dilakukan tentang potensial elektrokinetik yang muncul karena aliran fluida dalam medium berpori. Diantaranya adalah, aplikasi SP dalam "*geotechnical engineering*" untuk studi perembesan air tanah (Moore, 2004). Studi SP untuk mengidentifikasi karakteristik aliran fluida (Nurhandoko dan Ahmad, 2001). Studi SP pengukuran laboratorium potensial elektrokinetik

dari aliran fluida melalui medium berpori (Syahrudin et. al., 2007). Makalah ini membahas penerapan metoda self-potensial untuk mendeteksi aliran air dalam medium pori. Metode yang dilakukan untuk mendeteksi adanya aliran air dalam medium berpori dengan  $SP$  adalah melakukan pemodelan fisik di Laboratorium. Model fisik yang dibuat berbentuk kotak (sandbox) untuk mengukur  $SP$  dipermukaan. Bentuk sandbox dapat dilihat pada Gambar 1. Cara kerja alat pada Gambar 1 adalah air dialirkan melalui medium pasir kemudian diukur  $SP$  di permukaan setelah aliran air dianggap telah tunak. Hasil pengukuran  $SP$  dipermukaan dapat memberikan gambaran bagaimana aliran air mengalir di bawah permukaan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Teori

Self Potensial ( $SP$ ) yang dibangkitkan oleh aliran air dalam medium berpori yang dikenal dengan potensial elektrokinetik. Persamaan potensial elektrokinetik telah dikemukakan oleh Overbeek (Fargelund & Heinson, 2002). Arus listrik konvektif per satuan luas,  $i_{conv}$ , dalam pori-pori adalah diberikan sebagai berikut:

$$i_{conv} = \frac{\zeta \epsilon_r \epsilon_o}{\eta} \nabla_n P \quad (1)$$

Dimana  $\zeta$  adalah potensial antara layer + and (yaitu solid and liquid phases),  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relatif cairan (liquid)  $\epsilon_o$  adalah konstanta dielektrik ruang hampa,  $\eta$  adalah viscosity dari fluida ( $ML^{-1}T^{-1}$ ),  $\nabla_n P$  adalah gradien perbedaan tekanan ( $ML^{-1}T^{-2}$ ). Sebagai konsekuensi dari arus listrik konveksi, gradien potensial listrik (streaming potential) dibangkitkan sepanjang lintasan aliran. Gradien potensial penyebab arus aliran balik melalui cairan secara konduksi konduksi. Arus konduksi per satuan luas,  $i_{cond}$ , yang berlawanan adalah diberikan oleh hukum Ohm:

$$i_{cond} = -\sigma \nabla_n V \quad (2)$$

Dimana  $\sigma_w$  adalah conductivity dari fluida ( $I^2T^3M^{-1}L^{-2}$ ), dan  $\nabla_n V$  gradien potensial elektrokinetik (mV) normal. Keberadaan arus internal dan eksternal maka arus total adalah jumlah arus konvektif dan arus konduktif,  $i_{tot} = i_{conv} + i_{cond}$ . Untuk kondisi tunak produksi arus konvektif aliran fluida diimbangi oleh arus balik konduktif  $i_{cond} = -i_{conv}$  karena arus total sama dengan nol. Hasil kombinasi persamaan (1) dan (2) adalah hubungan proporsional antara  $\nabla_n V$  dan  $\nabla_n P$  yang diketahui sebagai persamaan Helmholtz-Smoluchovsky:

$$\nabla_n V = \frac{\epsilon_r \epsilon_o \zeta}{\eta \sigma} \nabla_n P = C_s \nabla_n P \quad (3)$$

Dimana  $C_s$  adalah koefisien streaming potensial.

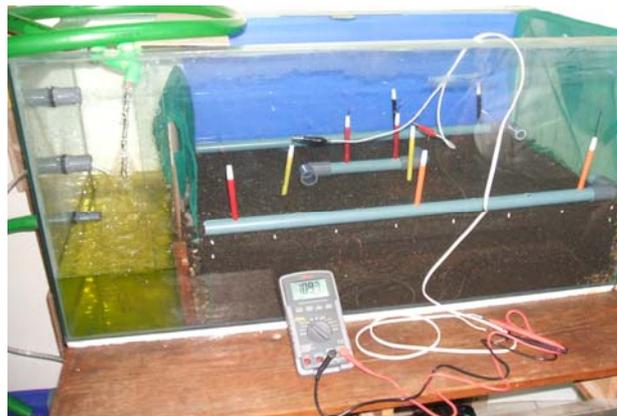
Air akan mengalir jika terdapat perbedaan tinggi muka air “*hydraulic head*”. Menurut hukum Darcy kecepatan aliran air dalam medium sebanding dengan gradient hidrolis. Gradient selisih ketinggian air dibandingkan dengan jarak antara dua titik disebut gradient hidrolis  $\nabla H$ . Karena itu,  $P = \rho g H$ , dimana  $\rho$  adalah densitas dari fluida ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  konstanta gravitasi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) dan  $H$  adalah ketinggian fluida air atau *hydraulic head*, persamaan (1) dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$\nabla V = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 \zeta \rho g}{\eta \sigma_w} \nabla H = C \nabla H \quad (3)$$

Dimana  $\zeta$  adalah zeta-potensial,  $\varepsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relative cairan,  $\varepsilon_0$  adalah konstanta dielektrik dalam ruang vakum,  $\eta$  adalah viskositas fluida. Selanjutnya, besaran  $C$  yang baru ini, didefinisikan sebagai konstanta konduktivitas elektrohidrolik. Persamaan (3). Persamaan (3) dikenal pula dengan persamaan Helmholtz-Smoluchowski (Fargelund & Heinson, 2002).

## 2.2 Geometri Pemodelan Fisik

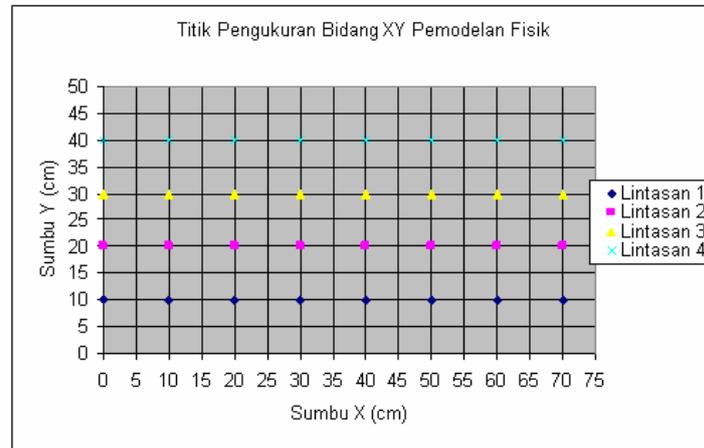
Bentuk dan ukuran medium berpori yang menjadi tinjauan pemodelan fisik untuk mengetahui distribusi potensial elektrokinetik atau SP di permukaan. Alat pemodelan fisik dapat dilihat dalam Gambar 1. Sebagai gambaran, di bagian kiri sebagai sumber air yang dirembeskan masuk ke dalam medium (*input*) dan keluar di sebelah kanan (*output*).



**Gambar 1** Foto pemodelan fisik untuk pengukuran SP permukaan medium

Ukuran penampang sandbox tersebut adalah pajang 70 cm, tinggi 50 cm dan lebar 50 cm. Demikian pula, sumber air yang merembes mempunyai kedalaman 50 cm sehingga nilai hidrolis head bervariasi dari 0 sampai 50 cm. Lintasan pengukuran SP di permukaan terdiri dari empat

lintasan. Lintasan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2. Spasi elektroda yang digunakan dalam setiap lintasan adalah sama yaitu 10 cm, 20 cm, 40 cm, dan 60 cm.



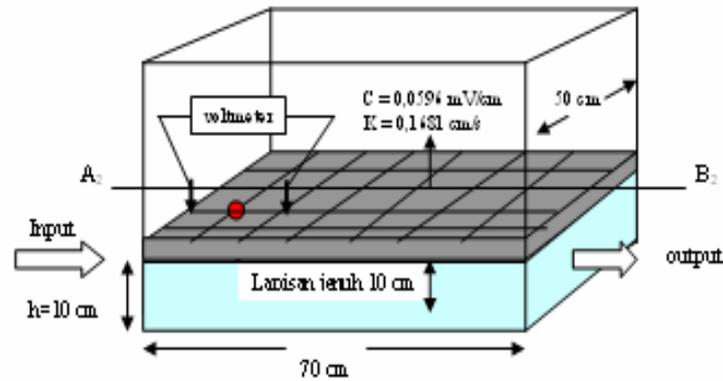
**Gambar 2** Lintasan pengukuran SP permukaan

Percobaan yang dilakukan terdiri dua kategori. Kategori pertama, diberikan hidrolis head ( $h$ ) sebesar 7 cm dan kategori kedua, diberikan hidrolis head 20 cm. Kedua kategori percobaan dapat dilihat dalam sketsa Gambar 3 dan Gambar 4. Harga  $K$  dan nilai  $C$  dari sampel medium pori yang digunakan telah diketahui dari hasil eksperimen (Syahrudin, 2007). Nilai  $K$  yang digunakan 0,1681 cm/s, sedangkan nilai  $C$  adalah 0,0596 mV.cm. Air yang merembes masuk ke dalam tanah yang masuk pada titik tertentu akan menempuh suatu jalan tertentu. Jalan ini disebut garis aliran (*flow line* atau *stream line*). Garis-garis *pressure head* disebut garis “*equipotensial*” atau *equipotensial lines*. Garis *equipotensial* tegak lurus terhadap garis aliran.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

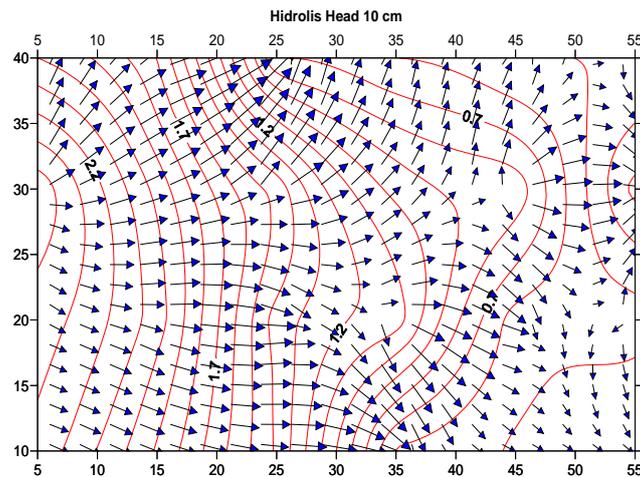
### 4.1 Hidrolis Head 10 Centimeter

Sketsa medium pori dan tempat pengukuran SP di permukaan untuk hidrolis head 10 cm dan 30 cm dapat dilihat dalam Gambar 3 dan Gambar 6. Hasil pengukuran anomali SP pemodelan secara fisik dapat dilihat dalam Gambar 4. Berdasarkan kontur garis *equipotensial* dari distribusi anomali SP di permukaan nampak jelas bahwa anomali SP semakin mengecil jika semakin jauh dari sumber. Anomali SP yang menurun dapat ditunjukkan dari kerapatan kontur. Jika kerapatan kontur besar maka nilai anomali SP juga besar. Dapat diinterpretasikan bahwa penurunan anomali SP disebabkan karena penurunan energi air atau turunnya tekanan hidrolis head yang masuk ke dalam medium pori.



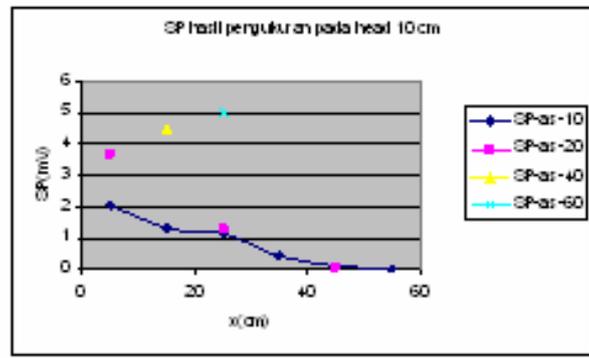
**Gambar 3** Sketsa pengukuran SP hidrolis head 10 cm

Aliran air yang masuk ke dalam medium pori mengikuti besarnya energi air. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa daerah yang energi airnya besar maka aliran air akan dominan di daerah itu. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa vektor aliran air bersesuaian dengan tekanan hidrolis head atau arah aliran (streamline) tegak lurus dengan kontur anomali SP.



**Gambar 4** Kontur distribusi SP hasil pengukuran hidrolis head 10 cm dan arah aliran air

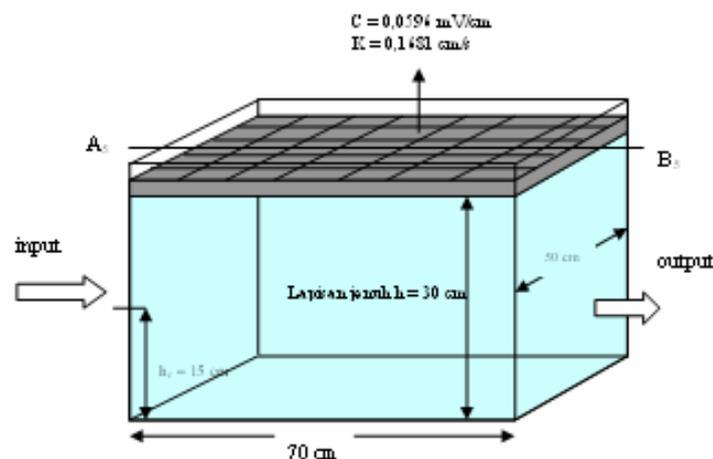
Sedangkan hasil pengukuran SP Penampang A-B atau lintasan tengah untuk spasi elektroda 10 cm, 20 cm, 40 cm dan 60 cm dapat dilihat pada Gambar 5. Spasi elektroda 10 cm diperoleh 6 titik pengukuran SP. Spasi elektroda 20 cm diperoleh 4 titik pengukuran SP. Spasi elektroda 40 cm dan 60 cm masing-masing diperoleh hanya satu titik pengukuran SP. Grafik antara SP dengan jarak x pada penampang A-B untuk hidrolis head 10 cm menunjukkan bahwa anomali SP semakin besar jika spasi elektroda semakin besar. Dapat diketahui bahwa naiknya anomali SP terhadap perubahan spasi elektroda yang semakin besar karena potensial elektrokinetik terbangkitkan sepanjang lintasan yang dilalui aliran air dalam medium pori itu.



**Gambar 5** Grafik SP hasil pengukuran penampang tengah A-B hidrolis head 10 cm

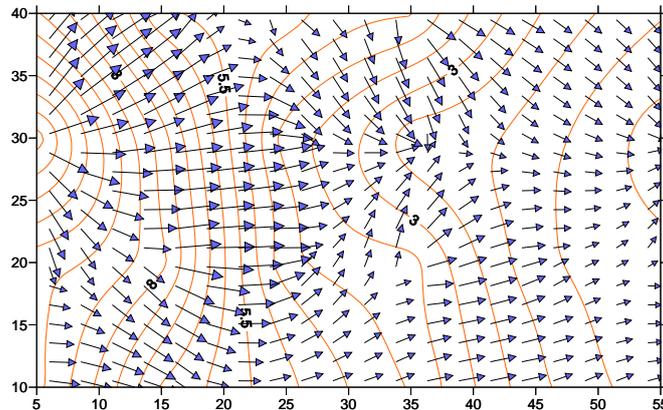
#### 4.2 Hidrolis Head 30 Centimeter

Prosedur percobaan pengukuran SP permukaan model fisik untuk hidrolis head sebesar 30 cm sama dengan prosedur percobaan yang dilakukan pada hidrolis head 10 cm. Perulangan percobaan untuk hidrolis head 30 cm dimaksudkan untuk melihat apakah mempunyai kecenderungan yang sama. Sketsa pengukuran SP hidrolis head 30 cm dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil pengukuran SP hidrolis head 30 cm untuk spasi elektroda 10 cm dapat dilihat dalam Gambar 7 dan hasil pengukuran SP lintasan tengah (penampang A-B) untuk hidrolis head 30 cm untuk masing-masing spasi elektroda dapat dilihat dalam Gambar 8. .

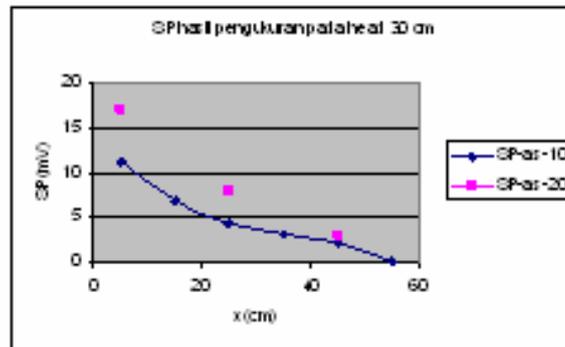


**Gambar 6** Sketsa pengukuran SP hidrolis head 30 cm

Distribusi potensial elektrokinetik atau anomali SP pada Gambar 7 dan dan hasil pengukuran SP lintasan tengah (penampang A-B) untk hidrolis head 30 cm untuk masing-masing spasi elektroda pada Gambar 8 menunjukkan bahwa telah mempunyai kecenderungan yang sama. Oleh karena itu, apa yang telah diinterpretasikan untuk hidrolis head 10 cm dapat diberlakukan untuk hidrolis head 30 cm.



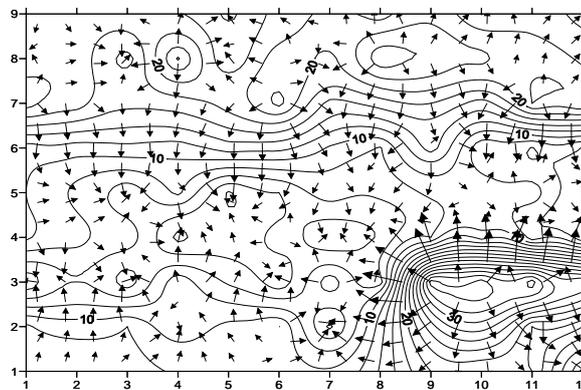
**Gambar 7** Kontur distribusi SP hasil pengukuran hidrolis head 30 cm dan arah aliran air



**Gambar 8** Grafik SP hasil pengukuran penampang tengah A-B hidrolis head 30 cm

#### 4.3 Hasil Pengukuran di Lapangan

Sebagai contoh data, telah dilakukan pengukuran SP di daerah Palalangan Bandung pada bulan April-Mei 2008. Hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Luas daerah yang disurvei adalah  $55 \times 40 \text{ m}^2$  dengan spasi elektroda 5m. Dari Gambar 9 dapat ditunjukkan bahwa air mengalir dari daerah yang tinggi ke daerah yang rendah kemudian masuk ke dalam rekahan (dari arah sumbu  $y = 6$  ke arah sepanjang sumbu  $x$ ) dan keluar melalui mata air.



**Gambar 9** Kontur distribusi SP hasil pengukuran lapangan dan arah aliran air



## 5. KESIMPULAN

1. Respon anomali SP yang terukur dipermukaan menunjukkan bahwa anomali self-potensial semakin besar apabila semakin dekat dengan sumber air yang masuk kedalam medium pori.
2. Self-potensial yang terukur dipermukaan akan berubah terhadap perubahan spasi elektroda. Jika semakin besar jika spasi elektroda maka anomali SP akan semakin besar.
3. Vektor aliran air yang masuk ke dalam medium pori adalah mengikuti anomali self-potensial yang terukur. Semakin besar anomali SP maka aliran air di lokasi itu semakin besar.

## DAFTAR PUSTAKA

Fagerlund, F., & Heinson, G., 2002: *Detecting Subsurface Groundwater Flow in Fractured Rock Using SP Methods*, Environmental Geology, 43: 782-794.

Moore, J.R., John W., Sanders, John J. C., and Steven D. G. 2004, Detecting Seepage Through a Natural Moraine Dam Using the Self-Potential Method (agu)

Kim, G., Heinson and Joseph J., 2004: *Electrokinetic groundwater exploration: a new geophysical technique*. School of Earth and Environment Sciences, University of Adelaide, SA, 5005, . *Regolith 2004*. CRC LEME, pp. 181-185.

Nurhandoko, B.E.B., and Ahmad I.A., 2001: *Self-potential study for identifying fluid flow characteristics: physical model case*. Proceedings The 26<sup>th</sup> HAGI Annual Meeting October 1-3, 2001, Bidakara complex, Jakarta

Syahrudin, M.H., 2007: *Self-Potential study for Laboratory Measurements of Electrokinetic Potential from Fluid Flow in Porous Media*, proceedings Joint Convention Bali, The 32<sup>nd</sup> HAGI and The 36<sup>nd</sup> IAGI Annual Convention and Exhibition