

STUDI RELASI HIDRODINAMIKA SUNGAI CIWALEN DAN AIR TANAH MELALUI PENDEKATAN MODEL (Studi Kasus pada Aliran Sungai Ciwalen Kecamatan Garut Kota)

Asep Mulyono

UPT Loka Uji Teknik Penambangan dan Mitigasi Bencana LIPI, Liwa
Kompleks LIPI, Pekon Padang Dalam, Balik Bukit, Liwa, Lampung Barat
e-mail: asepliwa@yahoo.co.id

ABSTRACT

Ciwalen River flows pass of leather industry in Sukaregang area that is the one of the prominent industry in Garut region. The usage of chemicals in the leather tanning process resulted in toxic liquid waste released to Ciwalen River. Ciwalen River containing contaminants would further contaminate the groundwater system along the Ciwalen River. The study of groundwater flow particularly hydrodynamic relation river and groundwater surrounding is required. Field and secondary data were utilized in this study. Groundwater flow and hydrodynamic relation river and groundwater analyses were carried out using Visual Modflow v3.1. software. The study results that hydrodynamic relationship between Ciwalen River and the groundwater system can be divided into 6 segments. Segment 1, 4, and 6 belong to effluent type, while segment 2 is of influent type. Segment 3 and 5 located right of the river are effluent and those located in the left of the river are of influent type. River channel length of segment 1 are 0.95 km, length of segment 2 are 0.62 km, length of segment 3 are 0.88 km, length of segment 4 are 0.21 km, length of segment 5 are 0.63 km and length of segment 6 are 1.18 km. Influent type indicate causes a groundwater pollution because river that's containing contaminants would further contaminate the groundwater system particularly at urban wells in surrounding segment.

Keywords: Hydrodynamic, Ciwalen River, Groundwater, Effluent, Influent

PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu sumber air bagi kehidupan makhluk hidup. Apabila keseimbangan kualitas air mulai terganggu maka akan terjadi permasalahan lingkungan yang sangat merugikan bagi kelangsungan makhluk hidup, baik yang berada di dalam sungai maupun yang tinggal di daerah sekitar aliran sungai tersebut. Sungai merupakan kawasan yang tidak mengenal batas wilayah. Apabila hulu tercemar maka akan mengakibatkan daerah hilir juga akan ikut tercemar. Tingkat polusi sungai di antaranya dapat dilihat melalui indikator sederhana terganggunya kesehatan masyarakat akibat tercemarnya sumur penduduk sebagai sumber utama air bersih, warna air yang keruh, dan bau yang sangat meresahkan dan matinya kehidupan ikan serta makhluk air lainnya.⁹

Sungai Ciwalen yang merupakan anak Sungai Cimanuk mengalir melewati kawasan industri kulit di daerah Sukaregang sekaligus menjadi tempat pembuangan akhir limbah cair dari kegiatan industri di sekitarnya. Sungai Ciwalen yang mengandung limbah cair dari industri kulit akan masuk dan mencemari air tanah di wilayah pemukiman penduduk di sepanjang Sungai Ciwalen. Kegiatan industri ini selain menambah devisa daerah juga menimbulkan berbagai permasalahan yang salah satunya adalah pencemaran pada air tanah penduduk.

Sungai dan air tanah memiliki interaksi yang erat. Sungai merupakan bagian integral dari suatu sistem aliran air tanah,² di mana superposisi dari sistem pola aliran air tanah akan berhubungan dengan dinamika sistem air permukaan sungai (kenaikan dan penurunan

muka air sungai). Dinamika pola muka air sungai dan muka air tanah menghasilkan suatu interaksi hidrodinamik sungai dengan sistem air tanah. Tipe hidrodinamika aliran sungai dengan air tanah terbagi menjadi empat tipe relasi,² yaitu air tanah mengisi sungai (*effluent/gaining stream*) terjadi bila muka air tanah lebih tinggi dari muka air sungai. Sungai mengisi air tanah (*influent/losing stream*) terjadi bila muka air sungai lebih tinggi dari muka air tanah, sungai dan air tanah tidak saling berhubungan/dibatasi oleh lapisan kedap air (*isolated stream*), sungai mengalir di atas zona jenuh seperti tanah atau material lepas (*perched*).

Oleh sebab itu, studi identifikasi relasi hidrodinamika Sungai Ciwalen dan air tanah menjadi penting untuk diteliti. Pemahaman mengenai relasi sungai dan air tanah diharapkan membantu pengendalian kualitas dan kuantitas air tanah di daerah yang dilewati oleh Sungai Ciwalen dan memberikan kontribusi terhadap kebijakan pengelolaan secara terintegrasi antara sungai dan air tanah.

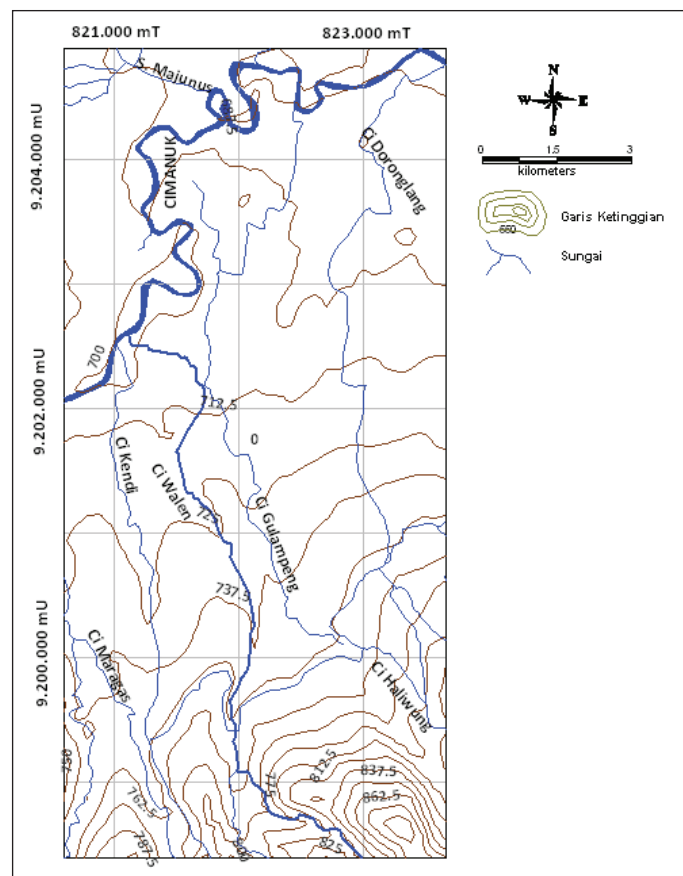
METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian lapangan dilaksanakan pada bulan Juli tahun 2009 yang berlokasi di wilayah sekitar Sungai Ciwalen, Kecamatan Garut Kota yang terletak pada ketinggian antara 682–870 mdpl (meter di atas permukaan laut) (Gambar 1).

Wilayah penelitian berada pada koordinat UTM sekitar 820.596–823.670 mT dan 9.198.385–9.204.885 mU, terletak pada ketinggian antara 682–870 mdpl. Wilayah penelitian dengan luas 20 km² termasuk ke dalam daerah aliran sungai (DAS) Cimanuk Hulu dengan Sungai Cimanuk sebagai sungai utama. Terdapat beberapa anak sungai yang mengalir menuju sungai utama, yaitu Sungai Ciwalen, Sungai Ci-kendi, dan Sungai Cidoronglang. Sungai Cikendi berada di sebelah barat Sungai Ciwalen dan Sungai Cidoronglang berada di sebelah timur.

Secara geologi, wilayah penelitian merupakan daerah antarpegunungan di mana litologi pengisinya secara umum tersusun oleh endapan-endapan hasil gunung api, baik endapan langsung



Gambar 1. Wilayah Penelitian

(piroklastik) maupun endapan tak langsung yang diendapkan terutama pada berbagai lingkungan darat. Berdasarkan Alzwar dkk.,³ litologi penyusunnya merupakan batuan vulkanik yang berumur Kuartar. Satuan batuannya terdiri atas: batuan Gunung api Kracak–Puncak Gede (Qkp), endapan rempah lepas gunung api muda tak teruraikan (Qypu), batuan gunung api muda (Qyc) dan Aluvium (Qa).

Berdasarkan peta geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk³ dan peta hidrogeologi Lembar Bandung⁴ dibedakan menjadi dua sistem akifer: (1) Sistem akifer pada endapan aluvial, dan (2) Sistem akifer pada endapan vulkanik. Batuan aluvial yang ada merupakan aluvial sungai. Produktivitas akifer pada sistem akifer endapan aluvial ini adalah sedang sampai setempat-setempat sedang. Sistem akifer pada endapan vulkanik terdapat di sebagian besar daerah penelitian. Batuan vulkanik terdiri atas endapan gunung api muda, endapan gunung api tak teruraikan, dan endapan gunung api tua. Litologinya dapat berupa rempah lepas, lava, dan tufa. Produktivitas akifer pada batuan vulkanik ini adalah sedang sampai produktif tinggi.

Metode Analisis

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini berasal dari berbagai sumber, terdiri atas 2 jenis data (primer dan sekunder). Pengumpulan data diperoleh dengan metode studi pustaka dan hasil kegiatan lapangan. Data primer atau data utama diperoleh dari hasil observasi dan pengamatan lapangan berupa pengamatan kondisi fisik Sungai Ciwalen, pengukuran debit Sungai Ciwalen di hulu dan hilir sebelum masuk sungai Cimanuk, pengukuran titik kedudukan dan kedalaman muka air tanah pada sumur-sumur gali penduduk di sepanjang Sungai Ciwalen dan muka air Sungai Ciwalen.

Parameter yang diukur di lapangan di antaranya adalah kedalaman sungai sampai dasar sungai (D), lebar sungai (t) dan kedalaman sungai dari muka air sungai ke dasar sungai (d).

Debit aliran (Q) di ukur dengan menggunakan persamaan Manning, yaitu:

$$Q = A * V \quad Q = A * V \dots\dots\dots(1)$$

$$V = \frac{1}{n} r^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad V = \frac{1}{n} r^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

$$r = \frac{A}{W_p} \quad r = \frac{A}{W_p} \dots\dots\dots(3)$$

$$A = \frac{2}{3} t * d \quad A = \frac{2}{3} t * d \dots\dots\dots(4)$$

$$W_p = t + \frac{8t^2}{3t} \quad W_p = t + \frac{8t^2}{3t} \dots\dots\dots(5)$$

Di mana:

n adalah indeks kekasaran sungai (n = 0,04) yang merupakan indeks kekasaran yang menunjukkan sungai dengan saluran alam tanpa vegetasi dan berdasar kerikil; r merupakan jari-jari hidrolis sungai yang didapat dari luas penampang (A) dibagi dengan keliling basah (W_p); S merupakan kemiringan permukaan air di lokasi pengukuran; lebar muka air sungai (t), dan kedalaman sungai dari muka air sungai ke dasar sungai (d).

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan pemodelan numerik. Simulasi untuk menentukan pola aliran air tanah dilakukan dengan solusi numerik beda hingga menggunakan perangkat lunak *Visual Modflow v3.1.0.85* dengan River Package⁵ yang dikeluarkan oleh *Waterloo Hydrologic Software*.

Langkah pertama dalam proses pengolahan data adalah melakukan rekonstruksi model fisik dan akifer di wilayah penelitian dengan memasukkan parameter kondisi batas model. Peta geologi, hidrogeologi, data pengamatan elevasi muka air tanah, kedalaman sungai, elevasi muka air sungai, lebar sungai, bentuk sungai, data uji pemboran selanjutnya menggambarkan model fisik akifer bebas di wilayah penelitian.

Asumsi yang digunakan untuk model aliran air tanah adalah dua lapisan batuan, yaitu lapisan pertama sebagai akifer bebas dan lapisan kedua sebagai lapisan akitar yang bersifat homogen dan isotropis, perolehan spesifik (*specific yield*) sama dengan porositas efektif batuan dan kondisi iklim dan curah hujan tidak berubah selama kurun waktu simulasi.

Setelah model fisik dan parameter akifer bebas terbentuk maka selanjutnya dilakukan simulasi numerik pada kondisi alami. Simulasi

pada kondisi tunak dilakukan pada kondisi muka air tanah tahun 1990. Model fisik dan parameter akifer pada kondisi tunak dianggap selesai jika hasil simulasi muka air tanah yang dihasilkan telah mendekati kondisi muka air tanah kondisi tunak. Selanjutnya, data pengambilan air tanah tahun 1991–2009 dimasukkan berdasarkan proyeksi data kebutuhan air penduduk dari jumlah penduduk di wilayah penelitian sebagai masukan data untuk kondisi tak tunak. Setelah model fisik dan parameter akifer pada kondisi tak tunak terbentuk, selanjutnya dilakukan simulasi numerik untuk tahun-tahun selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sehubungan dengan tidak adanya stasiun pengukur debit sungai di wilayah penelitian maka debit sungai diukur secara empiris melalui pendekatan *slope area method* yang menggunakan persamaan Manning di hulu dan hilir Sungai Ciwalen (Tabel 1). Berdasarkan 2 titik pengukuran tersebut, debit rata-rata Sungai Ciwalen adalah 3,76 m³/det dengan kecepatan rata-rata 1,55 m/det.

Berdasarkan klasifikasi sungai menurut Leopold dkk.,⁶ Sungai Ciwalen dengan kondisi dasar sungai yang berkerikil dan tanpa vegetasi berdasarkan lebar dan debitnya dikategorikan sebagai sungai kecil di mana lebar antara 1–10 meter dengan debit < 5 m³/det.

Kondisi Awal dan Kondisi Batas

Daerah model dideskritisasi menjadi 128 x 264 *grid*, di mana setiap *grid* mewakili 625 m² (25 x 25 meter) sehingga terdapat 33.792 *grid*. Model dibuat dalam 2 lapisan di mana lapisan pertama merupakan lapisan akifer bebas dan lapisan kedua berfungsi sebagai lapisan lempung. Lapisan akifer bebas didasarkan pada hasil pemboran sumur dangkal, data hasil pemboran⁷ di wilayah Banyuresmi dan Karangpawitan dan hasil survei

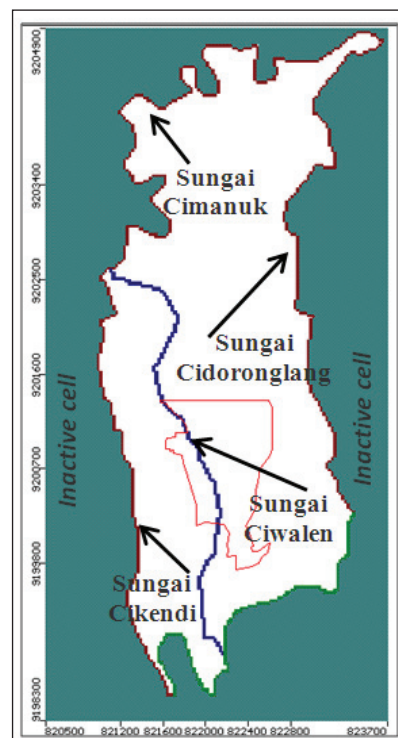
geolistrik⁷ di daerah Garut Kota. Lapisan akifer bebas pada model diasumsikan dengan kedalaman 30–50 meter di wilayah perbukitan dengan ketinggian antara 750–800 mdpl, sedangkan di wilayah dataran lapisan akifer bebas berkisar kedalaman 5–20 meter.

Kondisi awal merupakan nilai-nilai dari variabel berupa *head hydrologis* atau tinggi piezometrik di seluruh wilayah pemodelan. Parameter imbuhan (*recharge*) adalah sebesar 402 mm/tahun dan evapotranspirasi sebesar 883 mm/tahun untuk semua wilayah model. Kondisi batas merupakan variabel bebas, sepanjang batas sistem yang dimodelkan. Kondisi batas pada daerah pemodelan dapat dilihat pada Gambar 2.

Kondisi batas model pada Gambar 2 dibatasi oleh area nonaktif (*inactive cell*) yang dianggap bahwa sistem pemodelan berada pada area berwarna putih. Sebelah utara dianggap sebagai batas *head* yang konstan (*constant head*) berupa Sungai Cimanuk. Penentuan nilai batas *constant head* didasarkan pada fluktuasi tinggi muka air sungai.⁵ Sebelah barat dan timur merupakan kondisi batas *river* berupa Sungai Cikendi dan Sungai Cidoronglang. Penentuan nilai batas *river* didasarkan pada selain fluktuasi tinggi muka air sungai juga oleh kedalaman sedimen,

Tabel 1. Pengukuran di Sungai Ciwalen

Kode	Koordinat UTM	Kedalaman mas dari muka tanah (m)	Debit (m ³ /det)	Lebar (m)
GS-01	821297 mT 9202467 mU	1,4	2,82	4,5
GS-02	821991 mT 9199405 mU	2	4,64	1,25



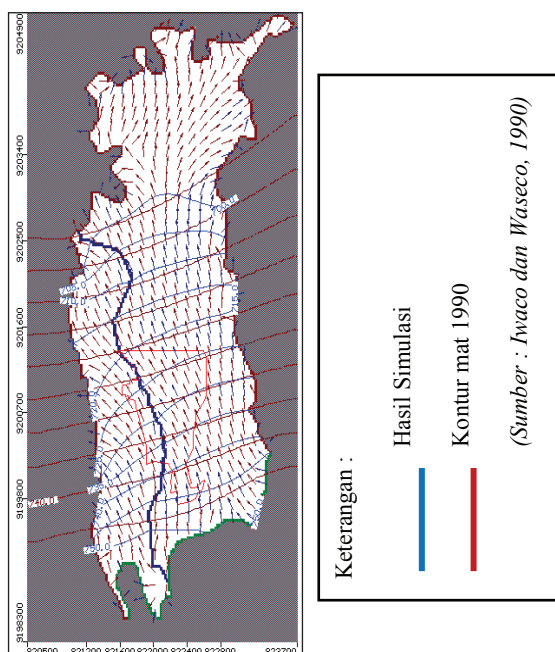
Gambar 2. Kondisi batas model

konduktivitas sedimen, kedalaman sungai sampai dasar sungai, lebar sungai, dan kedalaman sungai dari muka air sungai ke dasar sungai.⁵ Sebelah selatan merupakan kondisi batas *general head* yang merupakan garis muka air tanah (*head*)² di wilayah tekuk lereng.

Pola Aliran Air Tanah

Pemodelan air tanah dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi tunak/alami (*steady state*) dan kondisi tak tunak/terganggu (*transient*). Model tersebut harus disesuaikan dengan data hasil pengukuran melalui proses kalibrasi dan verifikasi model. Proses kalibrasi dan verifikasi dapat dilakukan dalam perangkat lunak *Visual Modflow v3.1.0.85* itu sendiri. Kalibrasi dan verifikasi model untuk kondisi tunak/alami (*steady state*) didasarkan pada data muka air tanah tahun 1990.⁸ Model terbaik yang diperoleh pada kondisi tunak/alami ditunjukkan dengan nilai konduktivitas hidraulik untuk lapisan pertama sebesar $2,03 \times 10^{-5}$ m/det dengan perolehan spesifik (*specific yield*) dan porositas efektif sebesar 0,25.

Hasil simulasi menunjukkan arah aliran air tanah pada kondisi tunak/alami dan tak tunak/terganggu secara umum bergerak dari selatan ke arah Sungai Cimanuk di sebelah utara dengan variasi ke arah barat laut dan tenggara daerah model (Gambar 3).



Gambar 3. Pola aliran air tanah kondisi tunak/alami (tahun 1990)

Seperti terlihat pada Gambar 3, kontur muka air tanah pada kondisi tunak/alami hasil simulasi (garis biru) dianggap konvergen dengan kontur muka air tanah tahun 1990 (garis merah) sehingga bisa dilakukan simulasi untuk kondisi tak tunak/terganggu.

Pada kondisi tak tunak/terganggu (*transient*) digunakan data dari tahun 1991–2009. Dikarenakan tidak adanya data lokasi sumur dan jumlah pengambilan air tanah maka pengambilan air tanah diasumsikan berdasarkan standar kebutuhan penduduk dengan lokasi sumur menyebar di seluruh wilayah penelitian. Model terbaik yang diperoleh pada kondisi tak tunak/terganggu ditunjukkan dengan nilai konduktivitas hidraulik untuk lapisan pertama sebesar $1,18 \times 10^{-5}$ m/det dengan perolehan spesifik (*specific yield*) dan porositas efektif sebesar 0,3 dan lapisan kedua dengan nilai konduktivitas hidraulik untuk lapisan pertama sebesar $1,0 \times 10^{-9}$ m/det dengan perolehan spesifik (*specific yield*) dan porositas efektif sebesar 0,1. Kalibrasi pada kondisi tak tunak/terganggu dilakukan dengan menggunakan data hasil pengukuran muka air tanah.

Kalibrasi dan verifikasi model pada kondisi tak tunak/terganggu didasarkan pada data hasil pengukuran lapangan pada tahun 2009 seperti terlihat pada Gambar 4. Kalibrasi dan verifikasi model dilakukan pada 10 (sepuluh) titik pengukuran di wilayah penelitian. Tabel 2 menunjukkan perbandingan data hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

Perubahan kontur muka air tanah pada simulasi kondisi terganggu terutama terjadi di sebelah utara, terjadi sebagai akibat penggunaan air tanah oleh penduduk (Gambar 4). Dari hasil kalibrasi dan verifikasi model didapatkan nilai R^2 sebesar 0,994 dengan *root mean square* sebesar 3,82% (Gambar 5).

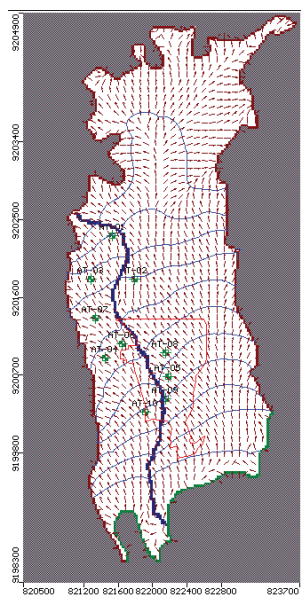
Berdasarkan hasil simulasi numerik pola aliran air tanah dan hasil pengukuran di lapangan, relasi hidrodinamika antara sungai dan air tanah di sepanjang Sungai Ciwalen berbeda-beda. Tipe hidrodinamika sungai didasarkan pada klasifikasi tipe relasi hidrodinamika² yang membagi menjadi empat tipe relasi aliran sungai dengan air tanah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sepanjang Sungai Ciwalen di daerah model terbagi menjadi enam segmen. Pada Gambar 5 didapatkan tiga

segmen yang memiliki tipe efluen di mana air tanah cenderung masuk ke air sungai yang ditunjukkan oleh segmen 1, 4, dan 6. Segmen 2 merupakan tipe influen di mana air Sungai Ciwalen masuk ke air tanah dan segmen 3 dan 5 sebelah kanan sungai dipengaruhi oleh air tanah (efluen) dan sebelah kiri sungai merupakan tipe influen.

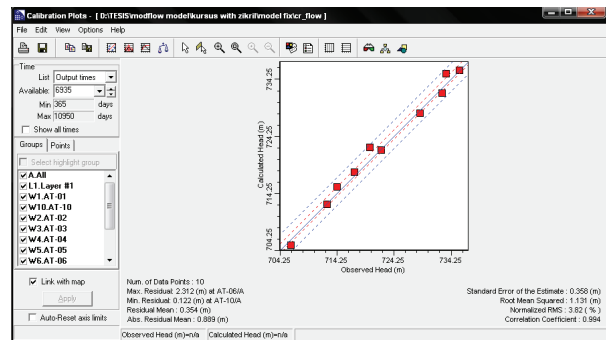
Pada Gambar 5, saluran sungai termasuk dalam segmen 1 sepanjang 0,95 km, segmen 2 sepanjang 0,62 km, segmen 3 sepanjang 0,88 km, segmen 4 sepanjang 0,21 km, segmen 5 sepanjang 0,63 km, dan segmen 6 sepanjang 1,18 km. Berdasarkan penampang AT-0102 pada Gambar 5, tipe sungai yang mengisi air tanah ditunjukkan pada titik AT-01 yang berada pada elevasi 707,9 mdpl dengan kedalaman muka air tanah

Tabel 2. Perbandingan data hasil pengukuran dengan hasil simulasi

Kode	Satuan	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
AT-01	mdpl	706,20	705,13
AT-02	mdpl	713,60	714,30
AT-03	mdpl	712,50	713,32
AT-04	mdpl	722,00	722,78
AT-05	mdpl	732,70	731,11
AT-06	mdpl	720,00	722,86
AT-07	mdpl	717,30	718,24
AT-08	mdpl	728,28	727,78
AT-09	mdpl	734,40	734,95
AT-10	mdpl	735,70	736,17



Gambar 4. Pola aliran air tanah pada kondisi tak tunak/terganggu (tahun 2009)



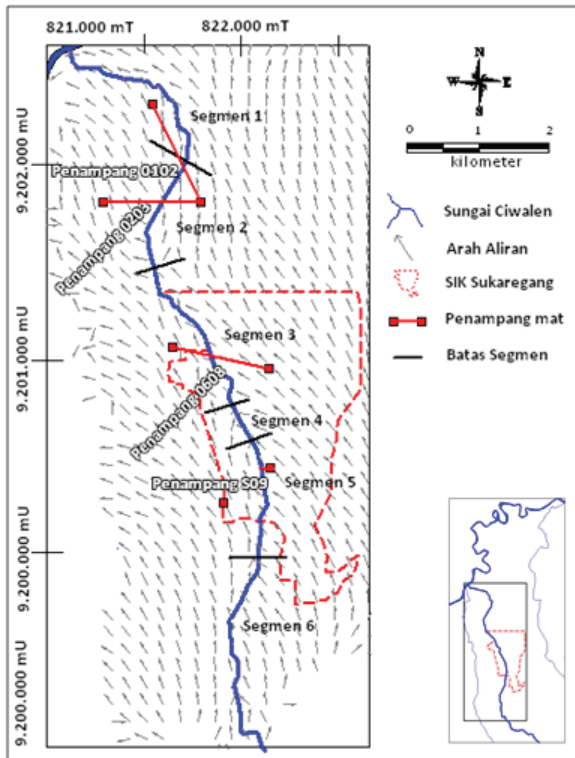
Gambar 5. Hasil kalibrasi muka air tanah pada kondisi tak tunak/terganggu (tahun 2009)

1,7 meter dan berada pada jarak 260 meter dari Sungai Ciwalen dengan beda tinggi sekitar 3,1 meter dengan elevasi sungai. Sementara itu, titik AT-02 dengan muka air tanah berada lebih tinggi 3 meter dari muka air Sungai Ciwalen (Gambar 6a). Pada segmen 2, berdasarkan penampang AT-0203, air tanah cenderung dipengaruhi oleh Sungai Ciwalen (influen). Kedudukan muka air sungai yang berada 3 meter di atas muka air tanah di titik AT-03 dan 0,6 meter di atas muka air tanah di titik AT-02 menyebabkan air sungai masuk ke air tanah (Gambar 6b).

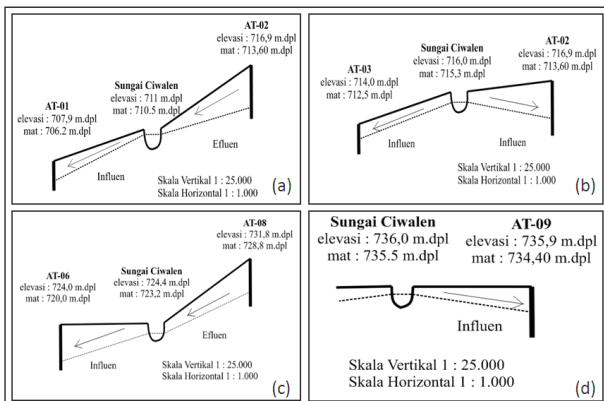
Pada segmen 3, berdasarkan penampang AT-0608, muka air tanah di titik AT-08 berada lebih tinggi dari muka air Sungai Ciwalen, yaitu sekitar 4 meter dengan posisi beda tinggi sekitar 7 meter dari titik ketinggian sungai. Sedangkan di titik AT-06 posisi muka air tanah lebih rendah 3 meter dari muka air sungai (723,25 mdpl) sehingga air sungai masuk ke air tanah (Gambar 6c). Pada segmen 5, berdasarkan penampang S09, muka air tanah di titik AT-09 berada lebih rendah dari muka air Sungai Ciwalen, yaitu sekitar 1,5 meter dengan posisi beda tinggi sekitar 1 meter dari titik ketinggian sungai (Gambar 6d).

KESIMPULAN

Relasi hidrodinamika antara sungai dan air tanah di sepanjang Sungai Ciwalen dengan pendekatan model numerik menghasilkan enam segmen, yaitu tiga segmen yang memiliki tipe efluen di mana air tanah cenderung masuk ke air sungai (segmen 1, 4 dan 6), satu segmen merupakan tipe influen dimana air Sungai Ciwalen masuk ke air tanah (segmen 2) dan dua segmen dimana



Gambar 5. Pembagian segmen tipe hidrodinamika Sungai Ciwalen



Gambar 6. Penampang muka air tanah dan muka air Sungai Ciwalen

sebelah kanan sungai dipengaruhi oleh air tanah (efluen) dan sebelah kiri sungai merupakan tipe influen (segmen 3 dan 5). Saluran sungai yang termasuk dalam segmen 1 sepanjang 0,95 km, segmen 2 sepanjang 0,62 km, segmen 3 sepanjang 0,88 km, segmen 4 sepanjang 0,21 km, segmen 5 sepanjang 0,63 km, dan segmen 6 sepanjang 1,18 km.

Tipe relasi yang influen akan mengakibatkan pencemaran pada air tanah dikarenakan zat-zat pencemar dari sungai akan masuk ke dalam air tanah, khususnya sumur-sumur penduduk yang berada di sekitar segmen tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Maryono, A. 2005. *Eko-Hidrolik Pembangunan Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.
- ²Lubis, R. F. dan Puradimaja, D. J. 2005. River-Aquifer Hydrodynamic Interaction on Cikapundung River Bank. *Prosiding IAGI*. Bandung.
- ³Alzwar, Akbar, dan Bachri. 1992. *Peta Geologi Regional Lembar Garut dan Pameungpeuk skala 1 : 100.000*. Bandung: Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan.
- ⁴Soetrisno. 1983. *Peta Hidrogeologi Lembar Bandung skala 1 : 250.000*. Bandung: Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan.
- ⁵Guiguer, N. dan T.Franz. 2003. *Visual Modflow 3.1.0.85 Version*. Ontario, Canada: Waterloo Hydrogeologic, Inc.
- ⁶Leopold, L. 1964. *Fluvial Processed in Geomorphology*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.
- ⁷Notosiswoyo, S., P.H. Richard, dan B. Suratno. 1991. *Studi Hidrogeologi dan Potensi Air tanah di Cekungan Garut, Jawa Barat*. Laporan Penelitian No. 11426191. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- ⁸IWACO dan WASECO. 1990. *Peta Hidrogeologi Kabupaten Garut skala 1 : 100.000*. Bandung: Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan.