

MODEL HEAD HYDROLIC AKUIFER BEBAS KONDISI UNSTEADY STATE

Juandi. M.

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru
Email: Juandi_m@rocketmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian model head hydrolic akuifer bebas kondisi unsteady state. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan head rata – rata kondisi alamiah dengan rata-rata 7,26 m maka validasi hasil simulasi pada tahap kalibrasi ini penyimpangan hasil head hydrolik simulasi sebesar -2,63 %. Model head hydrolic akuifer bebas kondisi unsteady state tahun 2014 telah menunjukkan zonasi aman akuifer bebas Kota Pekanbaru. Bahwa kondisi akuifer bebas head hydrolik kondisi unsteady state tahun 2014 dalam kondisi aman (baik) dengan persentase penyimpangan 11,02 %. Dengan memperhatikan model head hydrolic unsteady state yang ada, maka dapat diberikan usulan kebijakan berdasarkan model akuifer bebas unsteady state di Kota Pekanbaru, yaitu pemerintah dapat mengeluarkan izin pengambilan air akuifer bebas baik oleh penduduk dan industry dengan tetap memperhatikan konservasi berupa imbuhan air bawah tanah.

Kata kunci: Akuifer, head, hydrolic, unsteady state.

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan dan pembangunan di Kota Pekanbaru, maka pertumbuhan penduduk dan pembangunan sektoral seperti permukiman, pertanian, perdagangan, dan industry akan mendorong meningkatnya kebutuhan air bersih, sehingga informasi tentang pemetaan air bawah tanah di suatu wilayah sangat penting. Pertumbuhan penduduk Kota

Pekanbaru rata-rata 3,9 % - 4,18 % pertahun (Sumber: RTRW Kota Pekanbaru, 2008).

Proses perkembangan dan pembangunan di Kota Pekanbaru akan mempengaruhi perubahan fungsi lahan ataupun penutupan lahan, baik secara bertahap atau melalui pengembangan ruang berskala besar. Sedangkan lahan untuk Ruang Terbuka Hijau (RTH) Kota Pekanbaru yang tersedia saat ini seluas 28 ha (Sumber : BAPPEDA Kota Pekanbaru, 2009), dimana RTH ini

merupakan isu penting untuk ketersediaan air tanah. Sehingga perlu informasi tentang pemetaan air bawah tanah untuk kondisi alamiah yaitu suatu kondisi yang belum dipengaruhi oleh ruang terbangun. Sehingga dapat diketahui tingkat kerusakan lingkungan pada sistem air bawah tanah.

Agar terjadi keberlanjutan perekonomian meski didukung oleh ketersediaan sumberdaya air di suatu wilayah, maka sangat perlu dilakukan penelitian pemetaan air bawah tanah, untuk kepentingan domestic, pertanian, perikanan, komersial dan industri.

Kerusakan sumber daya air tidak dapat dipisahkan dari kerusakan di sekitarnya seperti kerusakan lahan, vegetasi dan tekanan penduduk. Beberapa faktor yang menyebabkan timbulnya permasalahan air tanah (Rudi, 2005):

- ⊙ Pertumbuhan industri yang pesat di suatu kawasan disertai dengan pertumbuhan pemukiman akan menimbulkan kecenderungan kenaikan permintaan air tanah.
- ⊙ Pemakai air beragam sehingga berbeda dalam kepentingan, maksud serta cara memperoleh sumber air.

- ⊙ Perlu perubahan sikap sebagian besar masyarakat yang cenderung boros dalam penggunaan air serta melalaikan unsur konservasi.
- ⊙ Adanya krisis air akibat kerusakan lingkungan perlu suatu upaya untuk menjaga keberadaan/ketersediaan sumber daya air tanah.

Keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan baik secara kuantitas maupun kualitas terhadap air tanah di kota Pekanbaru semakin kritis. Kesemuanya ini disebabkan karena pertumbuhan penduduk di Kota Pekanbaru yang sangat tinggi, serta terjadinya peningkatan ekonomi dan pembangunan yang menyebabkan timbulnya polusi serta berkurangnya lahan bebas/ruang hijau untuk proses pembentukan air tanah.

Penyelidikan air bawah tanah telah banyak dilakukan peneliti seperti : (Bambang, 2004) yang menyelidiki keberadaan air tanah dan keluaran air daerah karst di Kabupaten Sumba Barat. Bambang, 2004 telah melakukan interpretasi geolistrik untuk tahap identifikasi potensi air bawah tanah. (Adang, 2003), juga melakukan penyelidikan kondisi air tanah di kota Merauke Propinsi Papua, beliau merekomendasikan pemanfaatan air tanah

sebagai sumber air baku PAM. Laton, et.all, (2007), telah merekomendasikan bahwa teknik matematika dapat digunakan untuk identifikasi potensi kontaminasi air bawah tanah. Neyamadpour, et.all, (2009), telah berhasil mengaplikasikan metode geolistrik untuk menyelidiki sistim air bawah permukaan yang telah mengalami pencemaran. (Hutasoit, L.M, 2009) telah melakukan kajian tentang kondisi permukaan air tanah dengan dan tanpa peresapan buatan di daerah Bandung, yang mana telah menunjukkan bahwa ada pengaruh peresapan terhadap kondisi muka air tanah. Wahyudi, (2009), telah melakukan kajian tentang kondisi dan potensi dampak pemanfaatan air tanah di Kabupaten Bangkalan, yang merekomendasikan tentang kemungkinan pemanfaatan potesi air tanah.

Sedangkan penelitian ini hanya melihat bagaimana kondisi air bawah tanah pada sistim akuifer bebas melalui distribusi atau pemetaan air bawah tanah yang dianalisa.

PERUMUSAN MASALAH

Paradoks yang terjadi antara penduduk dan air yaitu pertumbuhan penduduk yang meningkat mengakibatkan kebutuhan air meningkat namun ketersediaan air menjadi

berkurang karena terjadi peningkatan lahan/ruang terbangun. Untuk mengatasi paradox tersebut salah satu upaya yang ditempuh ialah dengan mengetahui informasi pemetaan air bawah tanah sehingga penduduk mendapat gambaran tentang kondisi air bawah tanah yang ada diwilayahnya.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah

1. Menentukan head hydrolic akuifer bebas kondisi unsteady state di Kota Pekanbaru.
2. Melakukan analisa head hydrolic kondisi unsteady state akuifer bebas di Kota Pekanbaru

MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah :

- 1). Memberikan kontribusi pada ilmu lingkungan khususnya pengelolaan Air bawah tanah di Kota Pekanbaru secara berkelanjutan.
- 2). Pemerintah dapat menggunakan untuk kebijakan pemanfaatan dan pengelolaan Air Bawah Tanah di

Kota Pekanbaru secara berkelanjutan.

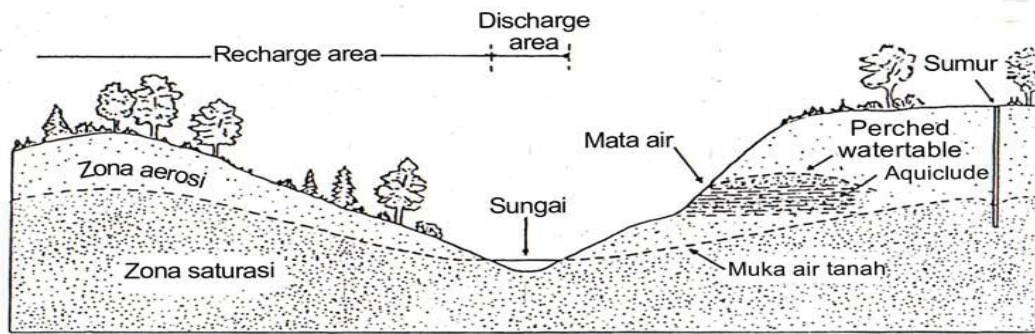
- 3). Berguna untuk bahan pembanding dan sumber data peneliti selanjutnya khususnya berkaitan dengan pemanfaatan dan pengelolaan air bawah tanah di Kota Pekanbaru berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Air tanah dapat didefinisikan sebagai semua air yang terdapat dalam ruang batuan dasar atau regolith. Dapat juga disebut aliran yang secara alam mengalir ke permukaan tanah melalui pancaran atau rembesan (Driscoll, dan Fletcher, G., 1987).

Kebanyakan air tanah berasal dari hujan. Air hujan yang meresap ke dalam tanah menjadi bagian dari air tanah, perlahan-lahan mengalir ke laut, atau mengalir langsung dalam tanah atau di permukaan dan bergabung dengan aliran sungai. Banyaknya air yang meresap ke tanah bergantung pada selain ruang dan waktu, juga di pengaruhi kecuraman lereng, kondisi material permukaan tanah dan jenis serta banyaknya vegetasi dan curah hujan. Meskipun curah hujan besar tetapi lerengnya curam, ditutupi material impermeabel, persentase air mengalir di permukaan lebih banyak

daripada meresap ke bawah. Sedangkan pada curah hujan sedang, pada lereng landai dan permukaannya permeabel, persentase air yang meresap lebih banyak. Sebagian air yang meresap tidak bergerak jauh karena tertahan oleh daya tarik molekuler sebagai lapisan pada butiran-butiran tanah. Sebagian menguap lagi ke atmosfer dan sisanya merupakan cadangan bagi tumbuhan selama belum ada hujan. Air yang tidak tertahan dekat permukaan menerobos ke bawah sampai zona dimana seluruh ruang terbuka pada sedimen atau batuan terisi air (jenuh air). Air dalam zona saturasi (*zone of saturation*) ini dinamakan airtanah (*ground water*). Batas atas zona ini disebut muka air tanah (*watertable*). Lapisan tanah, sedimen atau batuan di atasnya yang tidak jenuh disebut zona aerasi (*zone of aeration*). Muka air tanah umumnya tidak horizontal, tetapi lebih kurang mengikuti permukaan topografi di atasnya. Apabila tidak ada hujan maka muka air di bawah bukit akan menurun perlahan-lahan sampai sejajar dengan lembah. Namun hal ini tidak terjadi, karena hujan akan mengisi (*recharge*) lagi. Daerah dimana air hujan meresap ke bawah (*precipitation*) sampai zona saturasi dinamakan daerah rembesan (*recharge area*).



Gambar 1.Diagram memperlihatkan posisi relatif beberapa istilah yang berkaitan dengan air bawah permukaan.

Akuifer bebas atau akuifer tidak tertekan (*Unconfined Aquifer*)

Akuifer bebas atau akuifer tak tertekan adalah air tanah dalam akuifer tertutup lapisan *impermeable*, dan merupakan akuifer yang mempunyai muka air tanah (Ward, 1967). *Unconfined Aquifer* adalah akuifer jenuh air (*saturated*). Lapisan pembatasnya yang merupakan *aquitard*, hanya pada bagian bawahnya dan tidak ada

pembatas *aquitard* di lapisan atasnya, batas di lapisan atas berupa muka air tanah. Permukaan air tanah di sumur dan air tanah bebas adalah permukaan air bebas, jadi permukaan air tanah bebas adalah batas antara zone yang jenuh dengan air tanah dan zone yang aerasi (tak jenuh) di atas zone yang jenuh. Akuifer jenuh disebut jugasebagai *phriatic aquifer*, *non artesian aquifer* atau *free aquifer*.



Gambar 2. Akuifer bebas atau akuifer tidak tertekan (*Unconfined Aquifer*)

Aliran Unsteady State

Konsep aliran *unsteady state* didasarkan pada kondisi bahwa aliran *fluida* yang masuk atau keluar dari elemen volume berubah – ubah terhadap waktu. Massa air dalam elemen volume dinyatakan sebagai perbedaan antara aliran *fluida* yang masuk dan keluar, secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut (Driscoll dan Fletcher, 1987) :

$$\frac{\partial(\rho_w V_w)}{\partial t} = (Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} \delta_x) \rho_w + (Q_y + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \delta_y) \rho_w + (Q_z + \frac{\partial Q_z}{\partial z} \delta_z) \rho_w - (Q_x + Q_y + Q_z) \rho_w \quad (1)$$

Persamaan (1) dapat ditulis menjadi :

$$\frac{-1}{\rho_w} \frac{\partial(\rho_w V_w)}{\partial t} = \frac{\partial Q_x}{\partial x} \delta_x + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \delta_y + \frac{\partial Q_z}{\partial z} \delta_z \quad (2)$$

Suku sebelah kanan dari persamaan (1) dan (2) menyatakan jumlah aliran *fluida* yang keluar dari elemen volume dalam setiap arah koordinatnya. Jika aliran keluar positif, maka volume *fluida* dalam elemen volume akan berkurang.

Volume *fluida* (air) dalam elemen volume merupakan perkalian antara porositas dan volume dari elemen, sehingga persamaan (2) dapat ditulis menjadi:

$$\frac{-1}{\rho_w} \frac{\partial(\rho_w V_w)}{\partial t} \delta_x \delta_y \delta_z = \frac{\partial Q_x}{\partial x} \delta_x \frac{\partial Q_y}{\partial y} \delta_y + \frac{\partial Q_z}{\partial z} \delta_z \quad (3)$$

Selanjutnya fluks (Q_x, Q_y, Q_z) dalam persamaan (3) disubstitusikan berdasarkan hukum Darcy, kemudian dibagi dengan volume maka diperoleh :

$$\frac{1}{\rho_w} \frac{\partial(\rho_w \mu)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) \quad (4)$$

Persamaan (4) menunjukkan bahwa massa air dalam elemen volume dapat berubah sebab *density* air berubah atau karena *porositas* berubah. Persamaan (4) dapat ditulis menjadi :

$$\left[\frac{1}{\rho_w} \frac{\partial(\rho_w \mu)}{\partial h} \right] \frac{\partial h}{\partial t} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) \quad (5)$$

Persamaan (5) dapat ditulis dalam notasi *operator differensial* sebagai berikut :

$$\nabla \cdot \bar{k} \cdot \nabla h = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6)$$

Persamaan (6) adalah menyatakan kondisi aliran air bawah tanah dalam keadaan bergantung waktu (*unsteady state*).

Pendekatan *Hydrolik Unsteady State* untuk Aplikasi Lapangan

Kasus dimana daerah sangat luas sehingga harus memodelkan *akuifer*, artinya luasnya jauh lebih besar dari ketebalan *akuifer*, sehingga h tidak berubah dalam arah vertikal. Sehingga dapat digunakan sistim aliran dua dimensi.

Hukum *konsevasimassa* untuk dua dimensi *aliran hydraulic* dengan sumber dapat ditulis sebagai berikut (Guymon, 1994):

$$-\frac{\partial(\rho_w V_w)}{\partial t} = \left(Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} \delta_x\right) \rho_w + \left(Q_y + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \delta_y\right) \rho_w - (Q_x + Q_y) \rho_w + V_R \rho_w \quad (7)$$

V_R adalah volume air yang ditambah atau dikeluarkan dari akuifer persatuan waktu. Selanjutnya Q disubstitusikan berdasarkan hukum Darcy dan dibagi dengan luas permukaan $\delta_x \delta_y$, maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

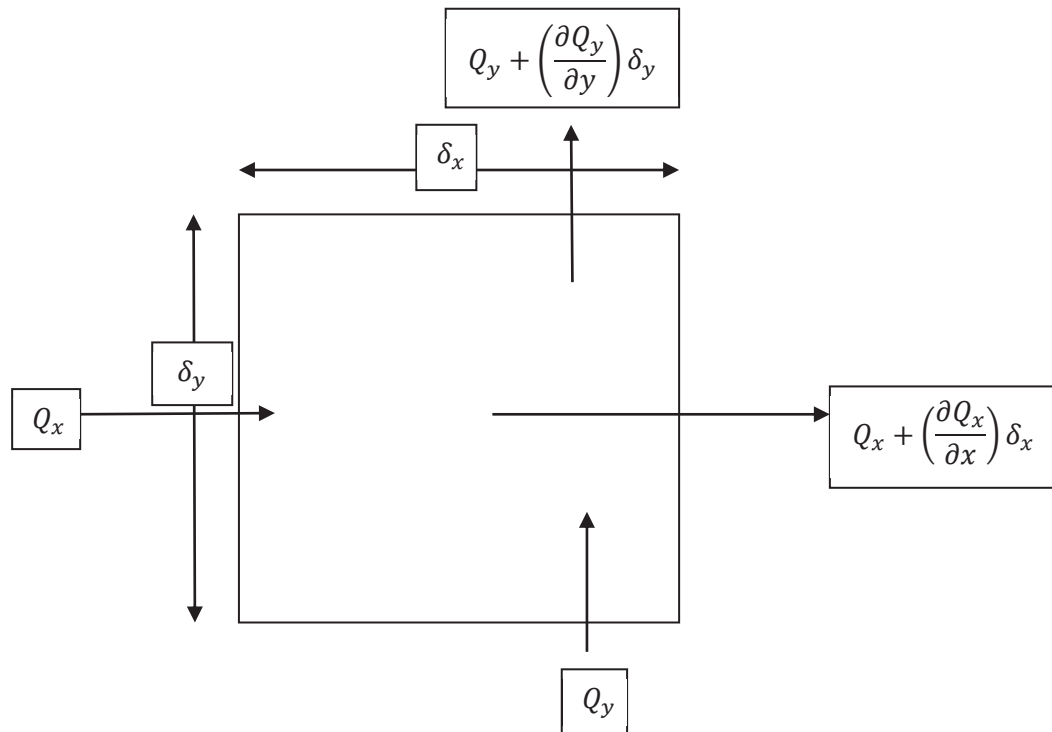
$$b S_s \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(b k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(b k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{V_R}{\delta_x \delta_y} \quad (8)$$

Ketebalan akuifer b berubah dalam posisi tetapi tidak tergantung pada waktu. Perkalian *hydraulic conductivity* dan ketebalan *akuifer* disebut *transmisivitas*, yang dimensinya (L^2/T) , dan perkalian antara *spesifik storage* dan ketebalan *akuifer* disebut *storativity*, sehingga persamaan (8) dapat ditulis menjadi :

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + R \quad (9)$$

Untuk *aquifer homogeny* dan *isotropic*, maka persamaan (9) dapat diubah menjadi (Guymon, 1994):

$$\frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{R}{T} \quad (10)$$



Gambar 3. Massa masuk sama dengan massa keluar, untuk komponen z tegak lurus bidang gambar

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah simulasi komputer dengan data yang digunakan merupakan data lapangan, yaitu :

- Nilai pengukuran tinggi air bawah tanah kondisi steady state diambil data sekunder tahun 1998.
- Data informasi geologi tentang nilai konduktivitas hidrolik

- Data informasi tentang gradien hidrolik, untuk melihat arah pergerakan air bawah tanah.

Persiapan Penelitian

Tahap persiapan penelitian meliputi :

- Observasi lapangan
- Bahan dan alat penelitian

Observasi lapangan

Observasi lapangan untuk menentukan lokasi pengambilan sampel – sampel

lapangan. Lokasi penelitian adalah mencakup administrasi Kota Madya Pekanbaru Provinsi Riau. Adapun diagram alir metode penelitian dapat dilihat pada gambar 5.

Bahan dan alat Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini peralatan yang digunakan ialah :

- 1) Satu set perangkat komputer
- 2) Sopftware MATLAB versi 7.9.0.529 (R2009b)

Pengumpulan data sekunder

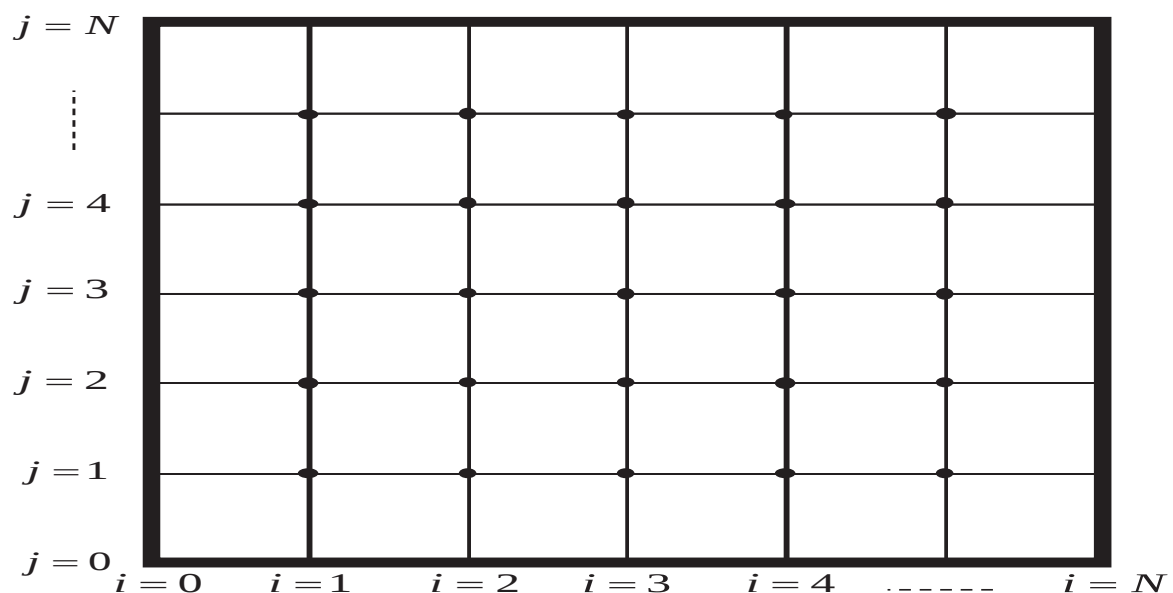
Kegiatan pengumpulan data sekunder adalah melakukan inventarisasi dari instansi terkait meliputi : dinas pertambangan dan energy Provinsi Riau, yaitu berupa : Data tentang tinggi muka air bawah tanah tahun 1998.

Pengukuran informasi Geologi

Kegiatan inventarisasi informasi geologi adalah melakukan analisa dari peta geologi dan hidrologi.

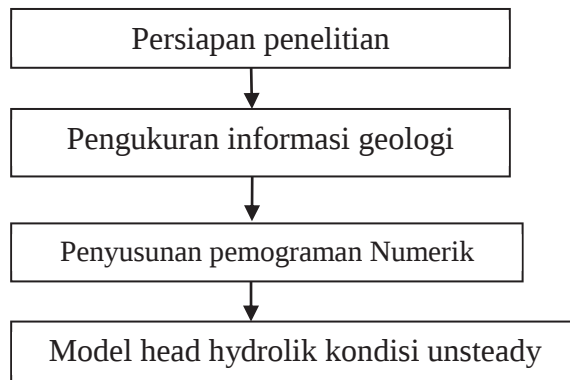
Penyusunan Pemograman Numerik

Guna keperluan simulasi perubahan nilai tinggi muka air bawah tanah (h) pada cekungan ABT Pekanbaru ini, maka perlu didefinisikan terlebih dahulu model simulasi yang dipakai. Adapun model yang dipakai adalah model persegi empat sama sisi (kotak), dengan diskritisasi dalam arah x sebanding dengan diskritisasi arah y ($\Delta x = \Delta y$) atau digunakan elemen kotak, untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar 5. Sebelum dilakukan perancangan Perancangan pemrograman ini menggunakan MATLAB versi 7.9.0.529 (R2009b).



Gambar 4. Model simulasi

Gambar 5. Tahapan - Tahapan Penelitian

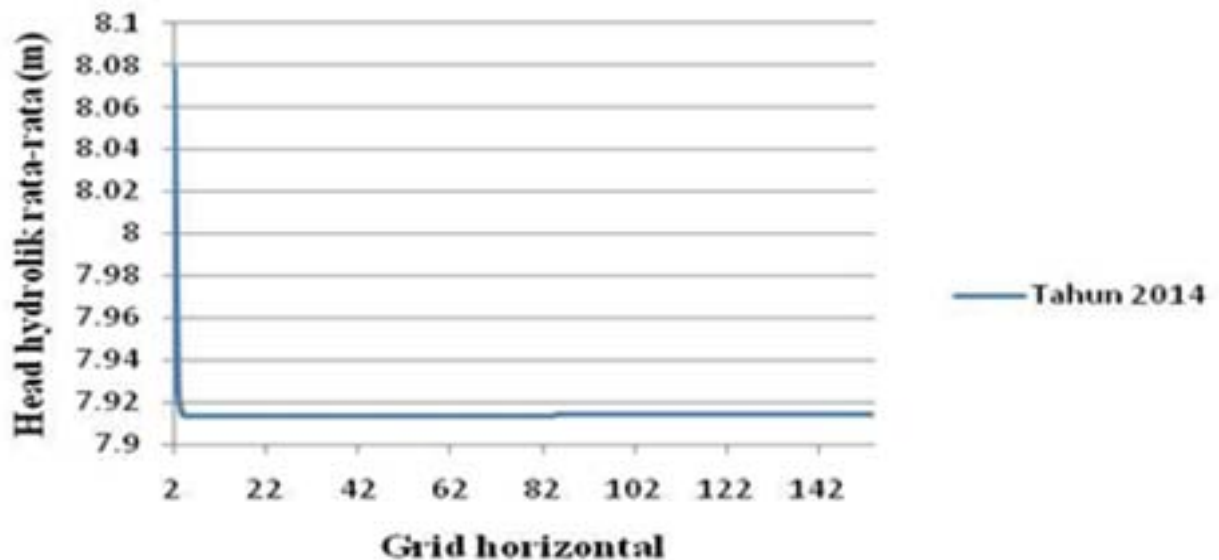


Gambar 5. Diagram alir penelitian

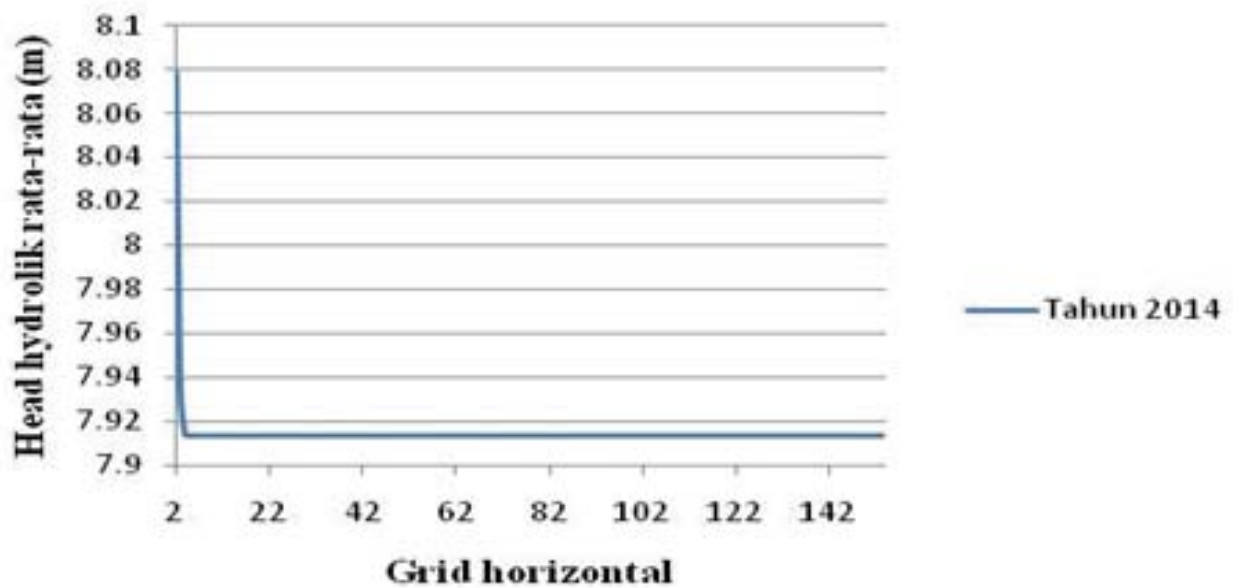
HASIL DAN PEMBAHASAN

Guna keperluan kalibrasi model digunakan analisis numerik yaitu menerapkan

persamaan laplace dan poisson. Hasil simulasi numerik untuk model head hidrolik yang dicoba sesuai dengan head hidrolik kondisi alamiah dapat dilihat pada Gambar 6 dengan parameter model fisik yang dipilih sehingga hasil bersesuaian dengan kondisi alamiah 1998 adalah: total pengambilan = $21.417.390 \text{ m}^3/\text{tahun}$, total imbuhan = $42.428.200 \text{ m}^3/\text{tahun}$, initial head hidrolik = 10,4 m, konduktivitas Hidrolik = 1,867 m/hari, hidrolik gradient = 0,037, transmisivitas = $13,58 \text{ m}^2/\text{hari}$ dan storatovitas = 17,67 %.



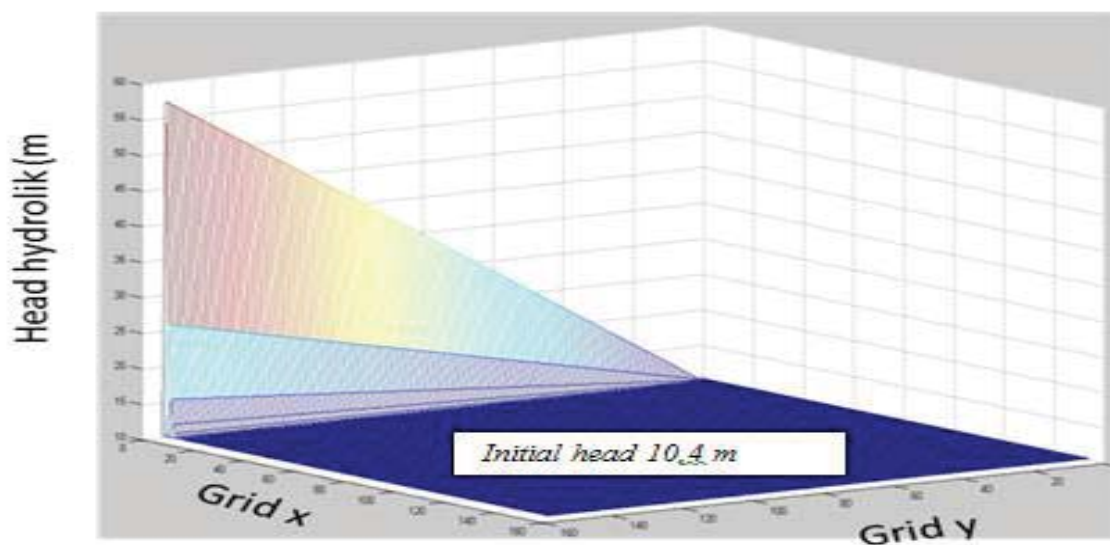
Gambar 6. Stabilitas Head Hydrolic pada jendela (5,j)



Gambar 7. Stabilitas Head Hydrolic pada Jendela (150,j)

Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai head hydrolic untuk jendela (5,j) dan (150,j) yang merupakan

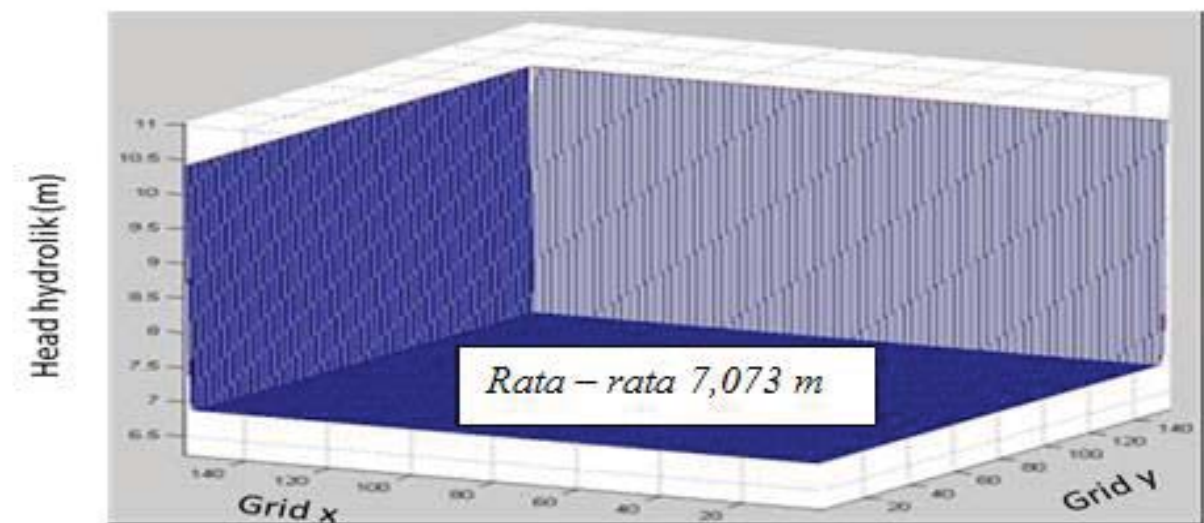
bukti bahwa hasil numeric sudah stabil, selanjutnya dapat diaplikasikan untuk data lanpangan.



Gambar 8. Kondisi head hydrolik teoritis (initial head) akuifer bebas Kota Pekanbaru

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai pada batas – batas keempat sisi juga mendekati nilai initial head yaitu sebesar 10,4 m. Gambar 9 dapat dihitung head hidrolik simulasi rata – rata untuk sebaran – sebaran yaitu sebesar 7,073 m , jika dibandingkan dengan head rata – rata

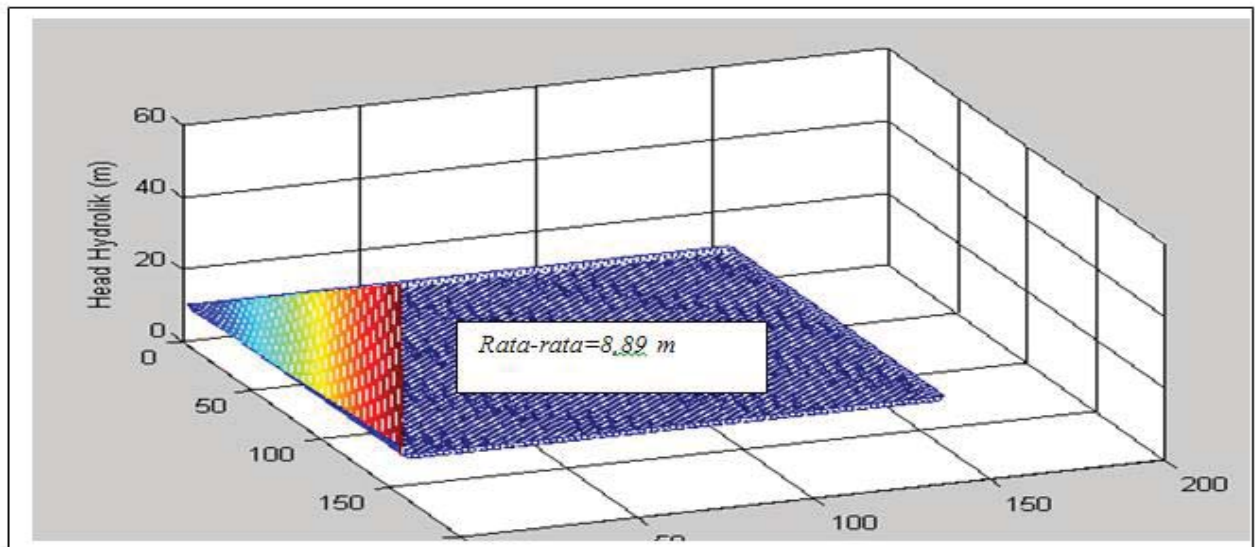
kondisi alamiah dengan rata-rata 7,26 m maka validasi hasil simulasi pada tahap kalibrasi ini penyimpangan hasil head hidrolik simulasi atau kesalahan sebesar - 2,63 %. Hal ini berarti validasi dari hasil kalibrasi dapat diterima untuk menjadi initial value pada tahap verifikasi selanjutnya.



Gambar 9. Head hidrolik hasil simulasi tahap kalibrasi atau kondisi alamiah akuifer bebas Kota Pekanbaru tahun 1998

Hasil tahap kalibrasi selanjutnya menjadi nilai awal head hidrolik yang akan digunakan untuk menentukan nilai head

hidrolik tahun 2014 model unsteady state, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10.



Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa head hydrolic kondisi unsteady state tahun 2014 di atas nilai head teoritis. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi akuifer bebas dalam kondisi aman (baik) dengan persentase penyimpangan 11,02 %. Kondisi membaik ini disebabkan karena faktor imbuhan model unsteady state telah mampu memberikan perbaikan artinya pengambilan akuifer bebas untuk tahun 2014 dapat diimbangi oleh imbuhan bahkan memberikan kondisi aman, sehingga model unsteady state dapat menjamin keberlanjutan akuifer bebas Kota Pekanbaru.

Model head hydrolic akuifer bebas kondisi unsteady state tahun 2014 telah menunjukkan zonasi aman akuifer bebas Kota Pekanbaru (Gambar 10).

Berdasarkan uraian – uraian di atas dengan memperhatikan model head hydrolic unsteady state yang ada, maka dapat diberikan usulan kebijakan berdasarkan model akuifer bebas unsteady state di Kota Pekanbaru, yaitu pemerintah dapat mengeluarkan izin pengambilan air akuifer bebas baik oleh penduduk dan industry dengan tetap memperhatikan konservasi berupa imbuhan air bawah tanah.

Konservasi berupa imbuhan air bawah tanah dapat diperoleh melalui sumur resapan air tanah, sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan imbuhan air tanah, disamping itu manfaat yang sangat berguna adalah dapat mengurangi banjir akibat limpasan air permukaan. Dengan pembiayaan yang (secara relatif) tidak

terlalu tinggi, pengadaan sumur resapan ini dapat dilakukan oleh setiap pembangunan satu rumah tinggal sehingga dapat menambah imbuhan air tanah seperti ditunjukkan dalam Gambar 8 menjadi kondisi head hidrolik unsteady state akuifer bebas Kota Pekanbaru tahun 2014, ini berarti bahwa penambahan imbuhan dapat memperbaiki kondisi akuifer bebas di Kota Pekanbaru.

Penelitian ini telah memperlihatkan bahwa head hidrolik kondisi *unsteady state* dalam sistem air bawah tanah di Kota Pekanbaru menunjukkan adanya pengaruh parameter-parameter lingkungan. Kondisi head hidrolik itu pada akuifer bebas dipengaruhi pengambilan air bawah tanah baik oleh penduduk maupun industri. Kondisi head hidrolik unsteady state pada akuifer bebas juga dipengaruhi oleh adanya imbuhan RTH. Kondisi head hidrolik unsteady state juga dipengaruhi oleh kebijakan pemerintah. Kebijakan pemerintah yang dimasukkan sebagai parameter lingkungan dalam penelitian adalah:

1. Pembuatan sumur resapan
2. Penyediaan imbuhan konservasi bagi pengembang yang akan membangun di atas lahan $> 5.000 \text{ m}^2$ sebesar 2% dari luas tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa:

1. Dibandingkan dengan head rata – rata kondisi alamiah dengan rata-rata 7,26 m maka validasi hasil simulasi pada tahap kalibrasi ini penyimpangan hasil head hidrolik simulasi sebesar - 2,63 %.
2. Model head hidrolik akuifer bebas kondisi unsteady state tahun 2014 telah menunjukkan zonasi aman akuifer bebas Kota Pekanbaru.
3. Bahwa kondisi akuifer bebas head hidrolik kondisi unsteady state tahun 2014 dalam kondisi aman (baik) dengan persentase penyimpangan 11,02 %.
4. Dengan memperhatikan model head hidrolik unsteady state yang ada, maka dapat diberikan usulan kebijakan berdasarkan model akuifer bebas unsteady state di Kota Pekanbaru, yaitu pemerintah dapat mengeluarkan izin pengambilan air akuifer bebas baik oleh penduduk dan industri dengan tetap memperhatikan konservasi berupa imbuhan air bawah tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adang, S.S, Iskandar, A.Y., Yuningsih, S.M., 2003, Kondisi Air Tanah di Kota Merauke Propinsi Papua, *Journal JLP*, 17(52):67-75
- Bambang, S., 2004, Identifikasi Keberadaan Air Tanah dan Keluaran Air Daerah Karst di Kabupaten Sumba Barat, *Journal, JLP*, 18(54):12-22.
- Ekraail, A.B, and Ibrahim, A.E, 2008, Regional Groundwater Flow Modeling of Gash River Basin Sudan, *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 3(3):157-167.
- Driscoll, Fletcher, G.,1987. *Groundwater and Wells*, Jhonson Division, St. Paul, Minnesota.
- Felter, C.W., 1994. *Applied Hydrology*, Third Edition, Prentice, Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Guymon, G.,1994, *Unsaturated zone hydrology*; Englewood Cliffs, New Jersey, PTR Prentice Hall, 2010p.
- Hutasoit, L.M, 2009. Kondisi Permukaan Air Tanah dengan dan Tanpa Peresapan Buatan di Daerah Bandung, *Jurnal Geology Indonesia*. 01.4, No.3, P.177-188.
- Kodoatie, R.J, 1996, *Pengantar hidrogeologi*, Edisi 1, Penerbit ANDI Yogyakarta
- Laton, W.R, Whitley, R.J, Hromadka II, T,V, 2007, A new mathematical technique for identifying potential sources of groundwater contamination. *Hydrogeology Journal* (15): 333–338
- Mock, F.J,1973. *Land Capability Appraisal Indonesia & Water Availability Appraisal*, Food and Agricultural Organization (FAO) of the United Nations, Bogor.
- Nazir, M, 1985. *Metode Penelitian*, Ghalia Indonesia.
- Neyamadpour, A, Samsudin, T, Abdullah, W.A,T, 2009, An Application of three-Dimensional electrical resistivity imaging for the detection of underground wastewater system, *Geophys* (53): 389-402.
- Rudi,P.T, 2005, Keberlanjutan ekologis : Ketersediaan Sumberdaya Air, p.382-387. Dalam Budhy, T.S.S, Gita, C.N., Wahyu, M (eds.) *Pembangunan Kota Indonesia dalam Abad 21 Konsep dan Pendekatan Pembangunan Perkotaan*

- di Indonesia. URDI- YSS – Jakarta
Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi,
Universitas Indonesia.
- Ward, R.C, 1967. Principles of Hydrology,
McGraw-Hill, Maidenhead, UK
- Wahyudi, H, 2009. Kondisi dan Potensi
Dampak Pemanfaatan Air Tanah di
Kabupaten Bangkalan, Jurnal
Aplikasi, Vol.7 No. 1. P. 14-19.