

ANALISIS INTRUSI AIR LAUT PADA SUMUR GALI DI KAWASAN CANDIDASA KARANGASEM

Ni Nyoman Pujianiki, I Gusti Bagus Sila Dharma, dan Ida Ayu Meitri Wijyantari

Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Udayana
Email: hakipuji@yahoo.com

ABSTRAK

Pengambilan air dalam jumlah banyak dan tidak terkendali pada daerah Candidasa dapat menyebabkan kedudukan muka air tanah menurun, yang menyebabkan aliran berbalik arah dari laut ke darat dan menyebabkan terjadinya intrusi air laut ke daratan. Hal ini juga disebutkan dalam Perda Kabupaten Karangasem pada Pasal 24 ayat 3 huruf H bahwa kawasan rawan intrusi air laut terdapat di kawasan Candidasa dan Tulamben. Pada penelitian ini ingin diketahui sejauh mana dampak intrusi airlaut berdasarkan nilai *conductivity* air tanahnya, mengetahui posisi *interface*, serta debit maksimum yang dapat diambil untuk mencegah intrusi secara luas. Metode penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Untuk mengetahui sejauh mana intrusi terjadi, dilakukan pengukuran terhadap nilai *conductivity* air sumur, pengukuran tinggi muka air tanah, kedalaman sumur, elevasi sumur dan jarak sumur dari garis pantai terhadap 5 sampel sumur. Posisi *interface* dihitung menggunakan persamaan Badon Ghyben-Herzberg, dan debit eksploitasi maksimum menggunakan persamaan Mercado dan Schmorak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *conductivity* menurun, jika jarak sumur semakin jauh dari garis pantai. Terdapat 3 sumur yang terintrusi dengan nilai *conductivity* lebih dari 1000 mS/cm, ketiga sumur tersebut memiliki jarak <100 m dari garis pantai. Posisi *interface* pada daerah penelitian telah mengalami intrusi pada jarak 81,52 m dari garis pantai. Debit maksimum yang diijinkan berkisar 1,448 m³/hari – 125,90 m³/hari. Sebagai referensi agar tidak terjadi intrusi secara luas, maka untuk pembuatan sumur selanjutnya sebaiknya jarak yang digunakan dari garis pantai > 100 m, dengan kedalaman *interface* yang masih dibawah nilai MSL, dengan kedalaman sumur ± 15 m.

Kata Kunci: *air tanah, intrusi air laut, conductivity, kawasan Candidasa*

ANALYSIS OF SEAWATER INTRUSION THE DIG WELLS AT CANDIDASA KARANGASEM

Water intake in large quantities and uncontrollable in Candidasa area can cause groundwater level decreased, which will cause the flow reversed from sea to land and cause intrusion of seawater into the mainland. It is also mentioned in Karangasem regency regulation article 24 number 3 point H that seawater intrusion prone area located in Candidasa and Tulamben area. This study aimed to investigate how far is the effect of seawater intrusion based on soil water conductivity value, considering the position of interface, and maximum debit can be taken to prevent wide intrusion. This research method uses descriptive quantitative method. Furthermore, to determine the extent of the intrusion occurred, measurement to the value of well conductivity, measurement of groundwater level, depth of the well, well elevation and well distance from beach line for the 5 sample of wells. Interface position counted using the equation of Badon Ghyben-Herzberg, and the debit maximum exploitation counted using the equation of Mercado and Schmorak. The result of this study showed that the value of conductivity decreased, if the distance of well getting farther from the beach line. There are 3 wells getting intrusion with conductivity value of more than 1000 mS/cm, the 3 wells has distance of less than 100m from beach line. Interface position in the location of this study has got intrusion in distance of 81,52m from beach line. The maximum debit allowed ranged from 1,448 m³/days until 125,90 m³/days. As references to prevent wide intrusion, therefore to dig next well it is better to use distance of more than 100m from beach line, with interface deep that still under value of MSL, with well depth of ±15m

Keywords: *groundwater, seawater intrusion, conductivity, Candidasa area*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangunan akomodasi dan pertumbuhan penduduk yang semakin pesat, menyebabkan keperluan akan air untuk kebutuhan sehari-hari semakin meningkat terutama untuk kebutuhan rumah tangga. Pemanfaatan air

tanah sering dijumpai pada daerah-daerah yang dekat dengan pantai, salah satunya adalah kawasan Candidasa. Pengambilan air dalam jumlah banyak dan tidak terkendali pada daerah pesisir dapat menyebabkan kedudukan muka air tanah menurun. Penurunan muka air tanah ini secara langsung akan mempengaruhi kedudukan muka air tanah sekitarnya, yang akan menyebabkan aliran berbalik arah dari laut ke darat dan menyebabkan terjadinya intrusi air laut ke daratan (Kodoatie, 2012). Pantai Candidasa merupakan kawasan rawan intrusi yang disebutkan dalam Perda Kabupaten Karangasem Pasal 24 ayat 3 huruf H bahwa Candidasa dan Tulamben merupakan kawasan rawan intrusi. Masyarakat sekitar umumnya menggunakan sumur gali untuk mendapatkan air. Beberapa alasan tersebut membuat peneliti melakukan studi penelitian intrusi air laut di Pantai Candidasa tepatnya di Dusun Samuh, Desa Bugbug Karangasem.

Studi intrusi air laut di Candidasa dapat dilakukan dengan cara melakukan pengukuran terhadap nilai *conductivity* (kemampuan suatu aliran air untuk menghantarkan arus listrik) air tanah yang berada pada setiap sumur di daerah penelitian dan posisi *interface* (zona antara air laut dan air tawar di bawah muka air laut) terhadap jarak sumur dari garis pantai.

Dari hasil penelitian ini akan memberikan informasi mengenai jarak penggalian sumur yang tepat dari garis pantai dengan debit pengambilan maksimumnya. Sehingga pada penelitian ini untuk menghindari intrusi secara luas perlu diperhitungkan batasan debit maksimumnya.

Rumusan Masalah

1. Sejauh mana jarak dan dampak intrusi yang telah terjadi pada kawasan pantai Candidasa berdasarkan nilai *conductivity* air tanahnya ?
2. Berapakah kedalaman *interface* pada daerah penelitian terhadap jarak sumur dari garis pantai ?
3. Berapakah jumlah debit maksimum yang dapat digunakan sebagai batas pengambilan volume air tanah pada sumur warga yang diteliti untuk mengurangi dampak dari intrusi air laut ?

Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui sejauh mana dampak intrusi yang telah terjadi pada kawasan pantai Candidasa berdasarkan nilai *conductivity* air tanahnya
2. Mengetahui posisi *interface* (zona antara air laut dan air tawar di bawah muka air laut) terhadap jarak sumur dari garis pantai
3. Mengetahui jumlah debit pengambilan maksimum yang dapat digunakan sebagai batas pengambilan volume air tanah pada sumur warga yang diteliti untuk mengurangi dampak dari intrusi air laut secara luas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Siklus Hidrologi

Menurut Triatmodjo (2009), proses kontinyu terdapat pada proses siklus hidrologi, dimana pergerakan air terjadi secara berulang dari bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi. Air di laut dan permukaan tanah mengalami penguapan. Uap ini akan naik ke atas menuju atmosfer, berubah menjadi titik air berupa awan. Kemudian titik air jatuh ke muka laut dan darat sebagai hujan. Hujan tersebut beberapa terbendung pada tumbuhan dan sebagian sampai pada muka tanah. Air hujan yang berada pada muka tanah tersebut merembes masuk ke dalam tanah (infiltrasi) dan beberapanya lagi berada diatas muka tanah (*surface runoff*) memenuhi cekungan tanah, danau, dan masuk ke sungai dan menuju laut. Air yang masuk ke tanah sebagian berada di dalam tanah (perkolasi) hingga sampai pada zona jenuh air dan menjadi air tanah dan keluar sebagai mata air atau bergerak mengisi sungai dan berakhir mengalir ke laut. Proses tersebut disebut dengan siklus hidrologi.

Air Tanah

Air tanah yang merupakan sumber daya alam terbarukan memiliki peranan penting dalam berbagai keperluan sebagai penyediaan pasokan untuk kebutuhan air, sehingga nilai air tanah itu sendiri menjadi bergeser (Hendrayana, 2002).

Air tanah merupakan sumber cadangan air yang penting, apalagi di suatu daerah dimana terdapat musim kemarau yang panjang dan membuat aliran sungai berhenti (Linsley, 1985). Terdapat 98% air yang berada dibawah permukaan dalam pori-pori batuan dari semua air diatas bumi, hanya 2% terdapat di danau, sungai dan *reservoir* (Seyhan, 1990).

Faktor-faktor Kualitas Air Tanah

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi air tanah sebagai berikut (Hendrayana, 2002):

1. Iklim yaitu meliputi curah hujan dan temperatur, hujan yang jatuh ke bumi sudah melarutkan beberapa unsur kimia, baik dalam bentuk larutan, gas maupun sebagai inti kondensasi pada tetes air hujan.
2. Batuan dan tanah merupakan sumber mineral, yang dilarutkan oleh air, sehingga kualitas air tanah disuatu tempat dipengaruhi oleh litologi tersebut.

3. Vegetasi, yaitu berbagai jenis maupun banyaknya vegetasi yang juga mempengaruhi kualitas air tanah.
4. Waktu, lamanya air tanah disuatu tempat akan mempengaruhi kualitasnya.
5. Aktifitas manusia, adanya pembuangan air limbah sembarangan yang akan membuat air semakin tercemar. Aktifitas manusia yang lain yaitu pengambilan air tanah berlebihan untuk keperluan domestik, industri, dan jasa lainnya yang menyebabkan penurunan muka air tanah sehingga aliran air menjadi berbalik dari arah lautan ke daratan yang mengakibatkan terjadinya intrusi air laut.

Pemanfaatan Air Tanah

Air tanah di sumur-sumur yang dimanfaatkan dapat menyebabkan turunnya lengkungan air tanah (*depression cone*). Apabila volume air tanah pengambilannya semakin besar, maka lengkungan air tanah semakin curam disekitar sumur sampai tercapai suatu keseimbangan baru. Keseimbangan tersebut bisa terjadi jika volume pengambilan air tanahnya lebih kecil dari pengisian air tanah oleh air hujan. Kelengkungan permukaan air tanah akan menurun pada beberapa sumur yang dapat membuat muka air tanah menurun secara permanen jika laju pengambilannya melebihi kecepatan dari pengisiannya (Ashriyati, 2011). Terjadinya penurunan air tanah pada daerah pantai dapat mengakibatkan intrusi air laut.

Menurut Kepmen ESDM Nomor : 1451.K/ 10/ MEM/ 2000. Menyatakan bahwa prinsip efisiensi air dilaksanakan dengan memanfaatkan air permukaan dan air tanah secara terpadu. Sumber air permukaan dijadikan sebagai sumber utama untuk pemenuhan kebutuhan air, sedangkan sebagai tambahan pasokan air digunakan air tanah, serta peruntukan air tanah diprioritaskan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dan air minum.

Dampak Pemanfaatan Air Tanah

Menurut Hendrayana (2002), dampak negatif yang ditimbulkan oleh pemanfaatan air yang berlebihan adalah :

- a. Menurunnya permukaan air tanah
- b. Kualitas air tanah menurun
- c. Terjadinya Intrusi Air Laut
- d. Amblesan Tanah (*land subsidence*)

Pengambilan Air Tanah Melalui Sumur

Untuk penduduk yang tinggal di daerah perkotaan dan di pedesaan, sumur merupakan sumber utama persediaan air bersih. Secara teknis dapat dibagi menjadi 2 jenis (Gabriel, 2001):

a. Sumur dangkal (*shallow well*)

Cara pengambilan air tanah yang sederhana adalah dengan membuat sumur gali. Kedalaman dan luas galian yang besar digunakan untuk pengambilan air tanah dalam jumlah banyak. Kedalaman sumur gali biasanya 5m sampai 8 m dibawah muka tanah. Untuk daerah pesisir, cara ini sangatlah cocok diterapkan, karena air tanahnya berada diatas air laut. Berdasarkan kedalaman dan jenis tanahnya, dapat diperoleh air sumur gali sebagai berikut :

- a) Untuk tanah berpasir : kedalaman cukup 6m sampai 8 m.
- b) Untuk tanah liat : kedalaman sumur tidak lebih dari 12 meter
- c) Untuk tanah kapur : kedalaman tidak lebih dari 40 meter

Kadaan atau sifat sumur gali :

- a) Air bebas dengan ketinggian berkisar 1m sampai 3 m dari dasar sumur
- b) Ketinggiannya bergantung pada musim dan jumlah air yang diambil
- c) Jenis tanah yang ada mempengaruhi rasa dan warna air
- d) Mudah tercemar, algae sedikit, bakteri banyak

b. Sumur dalam (*deep well*)

Pengambilan air tanah pada sumur dalam dengan melakukan pemboran. Kedalaman sumur bor berdasarkan struktur dan lapisan tanahnya sebagai berikut :

- a) Tanah berpasir : kedalaman sumur 30m sampai 40 meter .
- b) Tanah liat/padas : kedalaman 40m sampai 60 meter
- c) Tanah berkapur : kedalaman di atas 60 meter baru mendapat air
- d) Tanah berbukit : kedalaman 100 meter, kemungkinan tipis mendapat air

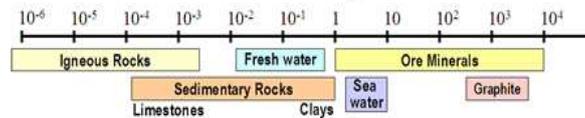
Kadaan atau sifat dari sumur bor :

- a) Rasa air sejuk dan jernih
- b) Sukar terjadi pencemaran
- c) Jumlah bakteri lebih kecil dari sumur gali

d) Jumlah algae lebih banyak dari sumur gali

Conductivity

Conductivity merupakan kemampuan suatu media (air, tanah, batuan) dalam mengalirkan arus listrik. Salah satu indikator yang mencemari air adalah adanya peningkatan conductivity yang signifikan. Nilai conductivity yang berbeda tergantung pada geologi dan jenis tanahnya. Conductivity yang tinggi diakibatkan dari berbagai ion-ion yang bermuatan negatif seperti klorida, sulfat, anion fosfat, dan nitrat atau ion yang bermuatan positif seperti kalsium, kation, natrium, besi, aluminium dan magnesium. Satuan conductivity dalam SI adalah S/m (siemens/meter). Tetapi banyak juga yang menggunakan satuan S/cm, mS/cm, dan μ S/cm. Conductivity pada air suling berkisar antara 0,5 μ S/cm sampai 3 μ S/cm, sebagian besar aliran berkisar antara 50 μ S/cm sampai 1.500 μ S/cm. Conductivity aliran air tawar antara 150 μ S/cm sampai 500 μ S/cm, dan nilai conductivity untuk air laut adalah 5 S/cm. Klasifikasi penggolongan nilai conductivity berdasarkan mineral dan batuan dapat dilihat pada Gambar 1. Suhu mempengaruhi nilai conductivity. Nilai conductivity yang tinggi dikarenakan suhu air semakin tinggi (Behar,1997).



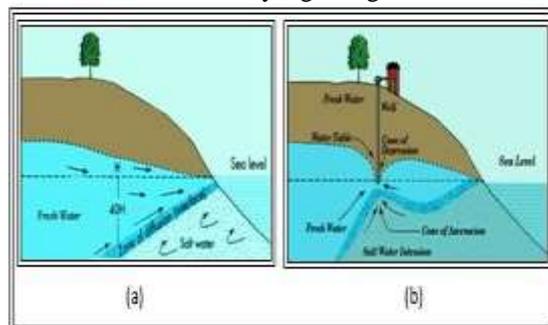
Gambar 1 Nilai conductivity dalam S/cm
 Sumber : <http://Documents/Resistivity.html>

Intrusi Air Laut

Naiknya batas antara air laut dengan air tawar kearah daratan disebut dengan intrusi air laut. Intrusi air laut terjadi karena adanya perbedaan tekanan , dimana tekanan air tawar lebih kecil dari tekanan air laut. Naiknya batas antara air tanah dan air laut naik ke daratan disebabkan karena adanya perbedaan tekanan tersebut. Dalam keadaan normal (tidak terjadi gangguan tekanan), air laut tetap masuk ke daratan karena massa jenis air laut yang lebih besar dibandingkan dengan air tawar. Intrusi air laut ke daratan semakin jauh kearah daratan ,bila tekanan air tanahnya menurun.

Menurut Santoso (1994) dalam Ashriyati (2011) *interface* adalah zona pertemuan antara air laut dengan air tanah. Secara terus menerus air tanah mengalir ke laut pada kondisi alami. Air laut akan mendesak air tanah di dalam tanah lebih ke hulu karena kerapatan jenis air laut sedikit lebih besar daripada kerapatan jenis air tanah. Desakan tersebut bisa dinetralisir dikarenakan tinggi tekanan piezometric air tanah lebih tinggi dari permukaan air laut dan arah aliran menjadi dari daratan ke lautan, sehingga menyebabkan keseimbangan antara air laut dan air tanah dan tidak menyebabkan intrusi air laut, dapat dilihat pada Gambar 2 (a). Aktivitas seperti pemompaan berlebihan, batuan penyusun dan karakteristik pantai sangat mengganggu keseimbangan air tawar dan air laut, dan terjadi intrusi.

Pada gambar 2 (b) dapat dijelaskan bahwa adanya eksploitasi akuifer pantai yang cukup besar, yang menyebabkan aliran air tawar tidak seimbang. Air laut yang mendekati air tawar dan membentuk sebuah *interface* kearah sumber air tanah membentuk kerucut yang mengakibatkan akuifer terintrusi.



Gambar 2 : (a) Keadaan *interface* alami,
 (b) *Interface* mengalami intrusi

Sumber: (<http://oseanografi.blogspot.com/2005/07/densitas-salinitas-airlaut.html>)

Persamaan Badon Ghyben-Herzberg

Hukum Ghyben-Herzberg menerangkan hubungan antara air tawar dan air laut pada akuifer pantai. Bidang batas (*interface*), bergantung pada keseimbangan keduanya, yaitu perbedaan berat jenis antara air tanah dengan air laut (Hendrayana,2002).

Pada Gambar 3, dengan sudut $\alpha < 90^\circ$, tekanan hidrostatik di titik A = B, ρ_s adalah kerapatan jenis air laut dan ρ_f adalah kerapatan jenis air tawar, berat kolom air tawar dari muka air tanah (*water table*) sampai *interface* ($hf + hs$) sama dengan berat unit air laut dari muka air laut sampai kedalaman *interface* (hs). Sehingga didapatkan persamaan :

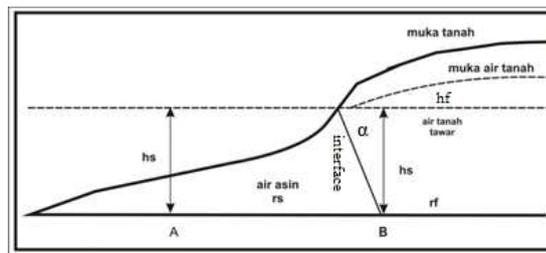
$$\rho_s \cdot g = \rho_f \cdot g (hf + hs) \quad (2.1) \text{ atau}$$

$$hs = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} hf \quad (2.2)$$

Pada kondisi $\rho_s = 1,025 \text{ gr/cm}^3$ dan $\rho_f = 1,0 \text{ gr/cm}^3$, akan didapatkan :

$$hs = 40 hf \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 disebut persamaan *Ghyben-Herzberg*. Dari persamaan tersebut, jika perubahan muka air tanah adalah hs maka didapatkan persamaan $hs = 40 hf$ artinya setiap terjadi penurunan muka air tanah sebesar 1 m pada keadaan statis, , batas antara air laut dengan air tawar akan naik sebesar 40 m



Gambar 3. Hubungan antara air laut dengan air tanah di daerah pantai pada akuifer bebas (Sumber: http://putradaribunda.blogspot.co.id/2011/04/intrusi-air-laut_6582.htm)

Upconning

Upconning adalah proses naiknya *interface* yang terjadi karena adanya pemompaan pada sumur, dimana air tawar berada diatas batas air asin. *Interface* dalam keadaan horizontal ketika pemompaan dimulai. Makin lama *interface* semakin naik mendekati sumur. Apabila pemompaan dihentikan sebelum *interface* mencapai sumur, maka airlaut akan tetap berada di posisi tersebut daripada kembali ke keadaan semula (Purnama,2000).

Kenaikan *upconning* dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan Schmorak dan Mercado dengan asumsi aliran air tawar mendatar menuju sumur:

$$Z = \frac{Q\rho_f}{2\pi dK(\rho_s - \rho_f)} \quad (2.4)$$

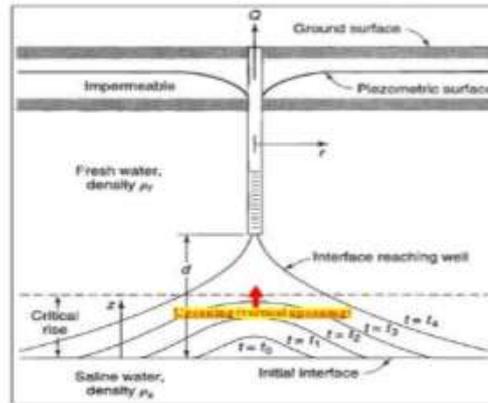
Dimana :

- d = Selisih elevasi dasar sumur ke elevasi *interface* (m)
- Z = tinggi *upconning* (m)
- Q = debit jumlah pompa (m^3/dt)
- K = Konduktivitas hidraulik (m/dt)

Ketika *interface* berada pada kondisi kritis ($Z/d = 0,3 - 0,5$) air laut akan masuk ke sumur mencemari sumber air. Sehingga maksimum pengeluaran untuk menurunkan kenaikan *interface* agar berada di bawah batas kritis diberikan dengan mensubstitusi $Z = 0,3d$ pada persamaan 2.4.

$$Q \text{ max} = 0,6 \cdot \pi d^2 K \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \quad (2.5)$$

Pada keadaan nyata, air payau berada di antara air tawa dan air laut. Air asin tetap dapat masuk ke sumur, walaupun dengan pemompaan debit yang rendah, Bagaimanapun efek dari *upconning* dapat dikurangi dengan mengenakan nilai d (memisahkan sumur dari lapisan air asin sejauh mungkin) dan mengurangi nilai debit Q (Gupta,1989).



Gambar 4 Upconning

(Sumber : <http://www.slideshare.net/Doung-Ratha/yogyakarta-coastal-aquifer>)

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif. metode deskriptif kuantitatif adalah metode yang menggambarkan fenomena sesungguhnya sesuai kondisi dilapangan dengan tahapan pengumpulan data, analisis data, dan interpretasi hasil analisis untuk mendapatkan informasi guna penarikan kesimpulan dan pengambilan keputusan

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di kawasan Pantai Candidasa, tepatnya di Dusun Samuh Desa Bugbug Karangasem pada koordinat 115°34'50.00" BT dan 8°30'49,6" LS untuk batas sebelah timur dan 115°34'28,9"BT dan 8°30'41"LS untuk batas sebelah barat.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengelompokkan sumur dari jarak yang paling dekat dengan bibir pantai sampai yang paling jauh yaitu pada jarak 175 meter dari garis pantai. Penelitian dilakukan dengan mengecek kualitas air, terutama nilai *conductivity* tiap sumur yang berada di sepanjang Kawasan Wisata Candidasa. Menentukan koordinat sumur dan elevasi sumur. Pengukuran yang dilakukan menghasilkan data berupa nilai *conductivity* yang akan diolah kedalam bentuk grafik. Dari grafik tersebut dapat dilihat hubungan *conductivity* terhadap jarak sumur dari garis pantai, sehingga diketahui zona air tanah yang terintrusi air laut maupun yang tidak terintrusi di daerah tersebut. Secara sistematis kerangka penelitian dijelaskan pada Gambar 5.

Sumber Data

Agar memperoleh data yang lengkap untuk kegiatan pengolahan data dan analisis data, peneliti menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer dikumpulkan langsung oleh peneliti melalui observasi dan pengukuran di lapangan. Data sekunder yang digunakan yaitu data pasang surut air laut diperoleh dari BMKG Wilayah III Denpasar dan data geolistrik untuk mengetahui konduktivitas hidraulik pada persamaan Mercado-Schmorak, sumber data dari penelitian Pujianiki dan Simpen (2016).

Jenis Data	Alat yang digunakan
Data koordinat dan elevasi tiap sumur	GPS
Data <i>conductivity</i> air sumur	EC Meter
Data fluktuasi muka air tanah	Water Level Meter
Data kedalaman tiap sumur	Meteran

Pengolahan dan Analisis Data

Dari data-data yang didapat dari pengukuran lapangan dan data sekunder, kemudian akan diolah untuk mendapatkan hasil yang diharapkan dengan urutan sebagai berikut :

1. Perhitungan Kedalaman *Interface*

- a. Koordinat geografis dari masing-masing sumur dipetakan menggunakan software *Map Source*.
- b. Data elevasi dan kedalaman sumur dikumpulkan untuk menghitung elevasi dasar sumur.
- c. Data fluktuasi muka air tanah selama 7 hari untuk masing-masing sumur diolah dengan menggunakan Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai rata-rata fluktuasi muka air tanah setiap sumur.
- d. Data *conductivity* yang dirata-ratakan, kemudian dibuat grafik hubungan jarak (x) dengan *conductivity* (y).
- e. Kedalaman *interface* dapat dihitung dengan menggunakan penyelesaian Badon Ghyben-Herzberg, data yang digunakan untuk menghitung kedalaman *interface* adalah elevasi muka air tanah dari muka air laut (*hf*). Untuk mendapatkan nilai *hf*, diperlukan data-data selama pengukuran yaitu elevasi sumur, kedalaman sumur, dan fluktuasi air tanah. Dari grafik hubungan jarak (x) dengan kedalaman *interface* (y) yang dilakukan, dapat diketahui kondisi *interface* belum terintrusi atau sudah mengalami intrusi.

2. Perhitungan Debit Maksimum

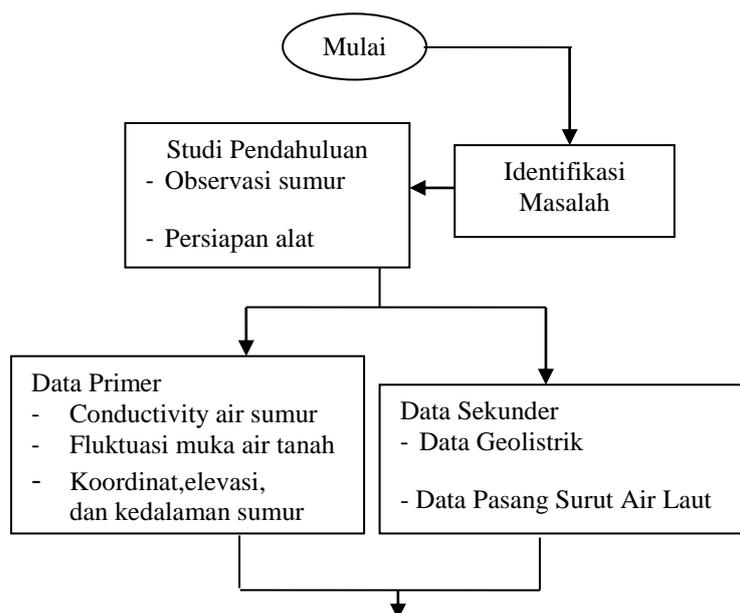
Persamaan Mercado dan Schmorak merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung tinggi kenaikan *interface* secara lokal (*upconning*). Selisih elevasi dasar sumur ke elevasi *interface* (d) dan konduktivitas hidraulik (K) diperlukan untuk menyelesaikan persamaan ini.

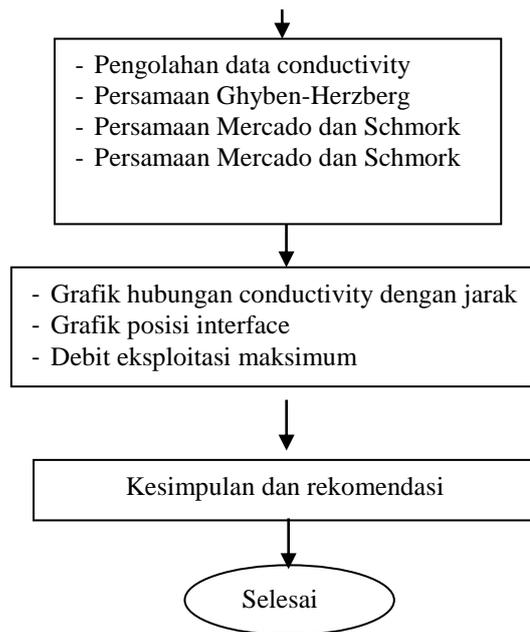
- a. Perhitungan selisih elevasi dasar sumur ke elevasi *interface* (d) memerlukan data elevasi dasar sumur dan elevasi *interface* terhadap MSL. Elevasi *interface* dapat diketahui dengan mensubstitusikan nilai jarak masing-masing sumur sebagai x ke dalam persamaan regresi yang dihasilkan dari grafik hubungan jarak dengan kedalaman *interface*.
- b. Perhitungan konduktivitas hidraulik tanah memerlukan data jenis tanah pada lokasi penelitian. Data konduktivitas hidraulik dikalibrasikan terhadap data debit salah satu sumur yang terintrusi sebagai acuan terhadap debit pengambilan maksimum yang akan dihitung untuk masing-masing sumur.

3. Analisis

- a. Data yang dihasilkan pada penelitian ini berupa grafik hubungan antara jarak sumur dari garis pantai dengan *conductivity* untuk memprediksi penyebaran intrusi air laut.
- b. Data hasil perhitungan kedalaman *interface* dan debit pengambilan maksimum, akan dijadikan analisa untuk mengetahui sejauh mana dampak intrusi yang telah terjadi pada daerah penelitian sehingga dapat mencegah terjadinya intrusi secara luas.
- c. Dari hasil penelitian, kesimpulan yang diharapkan dapat mengatasi keterbatasan ketersediaan air bersih dengan memberikan solusi jarak penggalian sumur yang terbaik.

Adapun diagram alur penelitian seperti Gambar 5.





Gambar 5 Kerangka penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat kerusakan air tanah dapat diketahui dengan menganalisis kualitas air tanah berdasarkan nilai *conductivity* nya. Nilai *conductivity* tergantung pada kandungan garam yang terlarut dalam air pada saat melakukan pengukuran. Secara teoritis nilai *conductivity* air laut sangat tinggi, karena banyak senyawa kimia yang terkandung, sehingga mengakibatkan nilai salinitas dan daya hantar listriknya juga tinggi. Data *conductivity* sumur dan tinggi air tanah selama 7 hari yang telah dirata-ratakan dapat dilihat pada Tabel 1. Dari data *conductivity* yang telah diukur, pola penyebarannya dapat diketahui terhadap jarak sumur dari garis pantai yang disajikan pada Gambar 6.

Jika diamati dari kurva tersebut dapat diprediksi sebaran nilai *conductivity* semakin menurun dengan semakin jauhnya jarak sumur dari garis pantai. Dari kurva tersebut sebaran nilai *conductivity* dapat diprediksi dengan persamaan regresi power, dimana persamaan tersebut memiliki nilai regresi yang mendekati 1, jika dibandingkan dengan R^2 metode yang lain. Persamaan regresi yang didapat dari kurva tersebut adalah $y = 10546x^{-0,47}$ dengan $R^2 = 0,783$.

Dari analisis data yang dilakukan, ditemukan 3 sumur yang terintrusi dengan nilai *conductivity* melebihi 1000 mS/cm. yaitu sumur 1 dengan nilai *conductivity* rata-rata 1373,43 mS/cm atau sama dengan 1,3 S/cm, sumur 2 nilai *conductivity* 1143,19 mS/cm = 1,1 S/cm dan sumur 3 nilai *conductivity* 1288,82 mS/cm = 1,2 S/cm, dengan jarak dari garis pantai untuk ketiga sumur tersebut < 100 m.

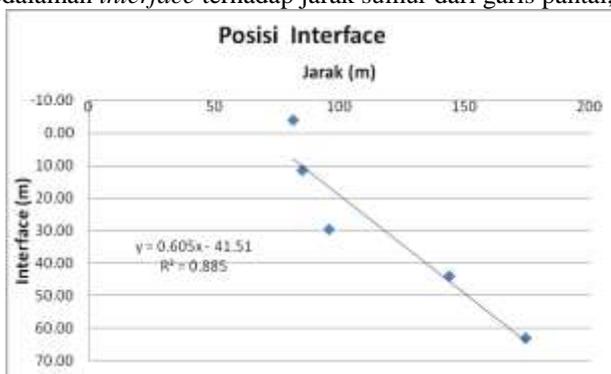
Tabel 1. Data rata-rata *conductivity* masing-masing sumur

Sumur	Jarak (m)	Nilai Conductivity (mS/cm)							Rata-rata
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari 7	
1	81.52	1351	1366	1369	1376	1386	1383	1380	1373
2	85.19	1134	1135	1140	1144	1154	1147	1146	1143
3	95.84	1274	1276	1281	1288	1308	1300	1292	1288
4	143.88	893	897	895	902	927	928	924.5	909
5	174.39	927	932	945	948	969	955	954.5	947



Gambar 6 . Grafik hubungan jarak dengan *Conductivity*

Untuk melihat kedalaman *interface* terhadap jarak sumur dari garis pantai, dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik posisi *interface*

Pada grafik posisi *interface* diatas dihitung menggunakan persamaan Badon Ghyben-Herzberg, dari grafik diperoleh persamaan regresinya yaitu $y = 0,605x - 41,51$ dengan $R^2 = 0,885$. Dapat dilihat dari kurva tersebut bahwa lokasi penelitian sudah mengalami intrusi karena posisi *interface* pada jarak 81,52 m dari garis pantai sudah menjorok ke atas dengan nilai -4,04 m dan melebihi nilai MSL yang didapat dari hasil perhitungan mempunyai nilai 1,3 m, dimana nilai MSL tersebut dijadikan acuan sebagai penentuan intrusi air laut.

Untuk mengurangi dampak intrusi secara luas, maka batasan pengambilan debit maksimum yang diijinkan berkisar 1,448 m³/hari – 125,90 m³/hari, hal ini juga dipengaruhi oleh jarak sumur dari garis pantai, semakin jauh jarak sumur dari garis pantai, maka debit maksimum yang dapat diambil semakin besar. Jika dikaitkan dengan masalah intrusi, hal ini menjelaskan bahwa jarak sumur yang semakin jauh dari garis pantai, maka indikasi terjadinya intrusi semakin kecil.

Selain membatasi pengambilan debitnya, juga dapat di imbangi dengan memperkirakan jarak sumur dari garis pantai. Sebagai informasi yang dapat dijadikan sebagai referensi agar tidak terjadi intrusi secara luas, maka untuk pembuatan sumur selanjutnya sebaiknya jarak yang digunakan dari garis pantai > 100 m, dengan kedalaman *interface* yang masih berada dibawah nilai MSL

5. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis, nilai *conductivity* menurun seiring dengan semakin jauh jarak sumur dari garis pantai. Ditemukan 3 sumur yang mengalami intrusi yaitu sumur 1, 2, dan 3. Ketiga sumur tersebut memiliki jarak < 100 m dari garis pantai dengan nilai *conductivity* lebih besar dari 1000 mS/m. Rata-rata nilai *conductivity* sumur daerah penelitian dikategorikan sebagai air payau.
2. Posisi *interface* pada lokasi penelitian sudah mengalami intrusi. Hal ini dikarenakan pada jarak sumur 81,52 m dari garis pantai posisi *interface* sudah menjorok ke atas dengan nilai -4,04 m melebihi nilai MSL yaitu 1,3 m.
3. Untuk mengurangi dampak intrusi secara luas, maka debit maksimum yang dapat diambil tergantung dari jarak sumur dari garis pantai yaitu berkisar 1,448 m³/hari – 125,90 m³/hari.

Saran

1. Pemerintah segera membuat peraturan daerah tentang pengelolaan air tanah dan pengendalian pengambilan air tanah, serta memperluas jaringan PDAM untuk penyediaan air bersih.
2. Masyarakat dan pengusaha akomodasi pariwisata setempat, sebaiknya melakukan upaya konservasi dengan melakukan penggunaan air secara efisien atau mempertahankan kondisi air tanah dengan pengaturan pemanfaatan lahan pada kawasan padat hunian, pembuatan embung pada kawasan cekungan, dan pembuatan sumur resapan dan biopori,
3. Penelitian selanjutnya untuk uji kualitas air tanahnya, perlu ditambahkan parameter yang mempengaruhi intrusi air laut seperti TDS, Salinitas, Clorida, Natrium dan sebagainya .

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. Geophysics Foundations, Physical Properties, Electrical Resistivity of Geologic Materials. Available from: URL: <file:///D:/Documents/Resistivity.htm> (diakses tanggal 27 Maret 2016).
- Anonim. Densitas, Salinitas Air Laut. Available from: URL: <http://oseanografi.blogspot.com/2005/07/densitas-salinitas-airlaut.html> (diakses tanggal 27 Maret 2016).
- Anonim. Intrusi Air Laut. Available from: URL: http://putradaribunda.blogspot.co.id/2011/04/intrusi-air-laut_6582.htm (diakses tanggal 27 Maret 2016).
- Ashriyarti, H. (2011). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai..* Cetakan kelima (revisi). Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Behar. S., (1997). *Testing the Waters Chemical and Physical Vital Signs of River*. River Watch Network. Montpelier
- Gabriel.J.F. (2001). *FisikaLingkungan*.Hipokrates. Jakarta
- Gupta. R. S. (1989). *Hydrology and Hydraulic Systems*. Prentice Hall, New Jersey.
- Hendrayana, Heru. (2002). *Intrusi Air Asin ke dalam Akuifer di Daratan*. Geological Engineering. Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1451.K/10/MEM/2000 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pengelolaan Air Tanah.
- Kodoatie, R. J. (2012). *Tata Ruang Air Tanah*. CV. Andi Offset (Penerbit Andi).Yogyakarta
- Linsley, R. K., (1996). *Teknik Sumber Daya Air*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Peraturan Daerah Kabupaten Karangasem Nomor 17 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karangasem.
- Pujianiki N.N dan Simpen I N. (2016).” Pemetaan Intrusi Air laut Di Candidasa”. Laporan HUPS Unud. Denpasar.
- Purnama, S. (2000). *Bahan Ajar Geohidrologi*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Ratha, D. (2012). Coastal Aquifer Groundwater Modeling in the Southern Part of Yogyakarta Area. Tersedia pada <http://www.slideshare.net/Doung-Ratha/yogyakarta-coastal-aquifer> (diakses tanggal 27 Maret 2016).
- Schwartz, F. W., Zhang, H. (2003). *Fundamentals of Groundwater*. John Wiley & Sons. New York.
- Seyhan, E. (1990). *Dasar-Dasar Hidrologi*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Triatmodjo.B. (2009). *Teknik Pantai*.Beta Offset. Yogyakarta