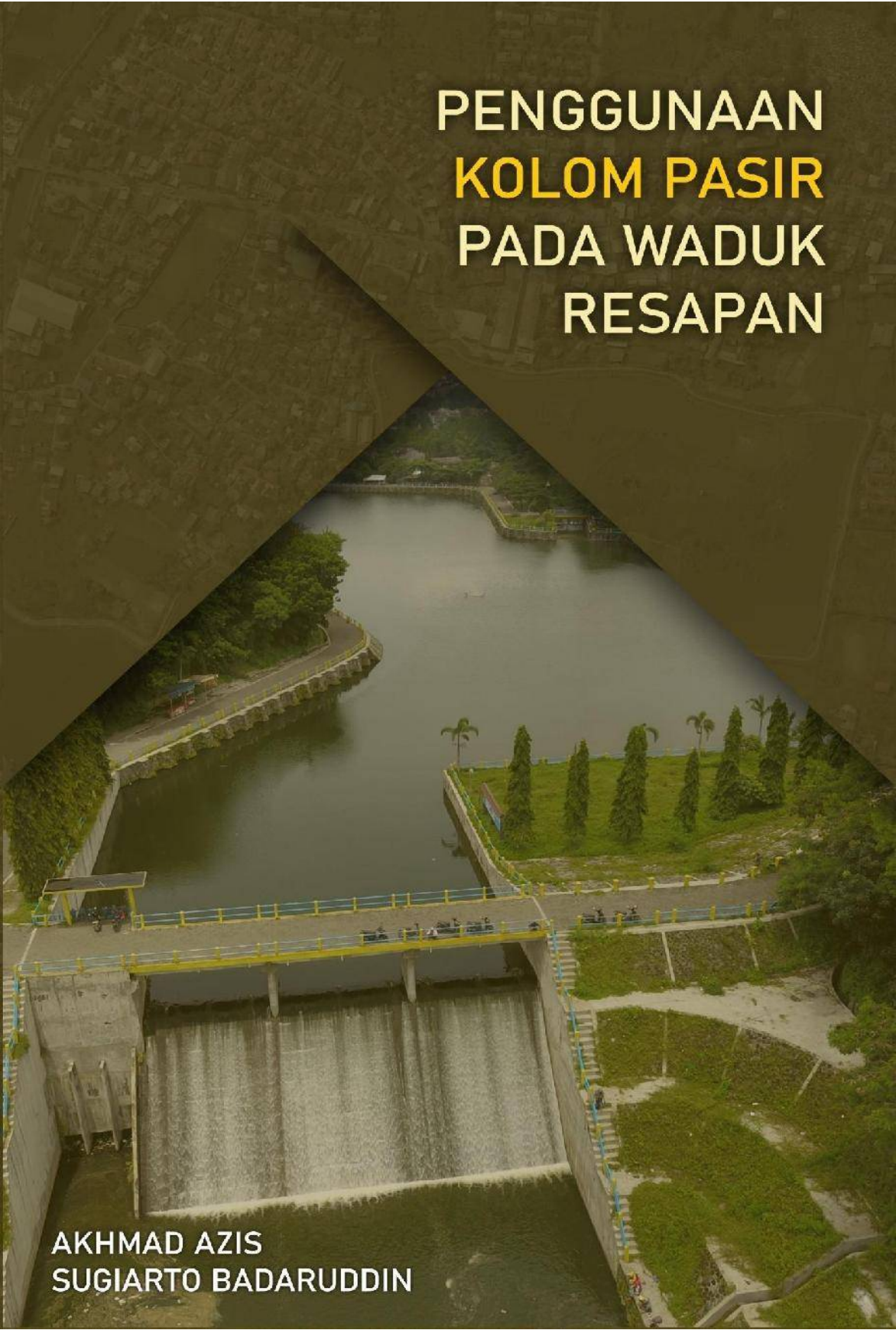
PENGGUNAAN KOLOM PASIR PADA WADUK RESAPAN



AKHMAD AZIS
SUGIARTO BADARUDDIN

Penggunaan Kolom Pasir Pada Waduk Resapan

Penulis

Akhmad Azis
Sugiarto Badaruddin

Penerbit

Living Spiritual Quotient

2022

PENGGUNAAN KOLOM PASIR PADA WADUK RESAPAN

Hak Cipta @ 2022 Akhmad Azis & Sugiarto Badaruddin
Pertama kali diterbitkan dalam bahasa Indonesia
Oleh Penerbit LSQ Makassar, Februari 2022.

Perpustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Penulis : Akhmad Azis
Sugiarto Badaruddin

Tata Letak : Imam Masrudi Achmad
Desain Sampul : Ahmad Fauzi Budjang

Penerbit : LSQ Makassar

Akhmad Azis & Sugiarto Badaruddin
Penggunaan Kolom Pasir Pada Waduk Resapan / Penerbit : LSQ Makassar, 2022. 23 x 15,5 cm

ISBN : 978-602-1308-51-6

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit.

KATA PENGANTAR

Pertama-tama perkenankan saya memanjatkan puji syukur yang setinggi-tingginya kepada Allah SWT, oleh karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan buku ini yang berjudul Penggunaan Kolom Pasir Pada Waduk Resapan, berhasil rampung dan diselesaikan dengan baik. Buku ini merupakan suntingan dari berbagai buku dan jurnal, yang membahas tentang isu krisis air tanah, air tanah, karakteristik dan klasifikasi tanah, imbuhan buatan serta waduk resapan.

Buku ini menjelaskan pula tentang bagaimana jika permukaan tanah pada dasar waduk resapan memiliki permeabilitas tanah dibawah 10^{-5} cm/det sehingga air sulit masuk ke dalam tanah. Untuk itu maka digunakan kolom pasir yang memiliki permeabilitas besar diletakkan di dasar waduk resapan agar air dengan mudah masuk ke dalam lapisan tanah. Selain untuk menjaga ketersediaan air tanah, waduk resapan dapat pula menurunkan panjang intrusi air laut.

Diharapkan buku ini bermanfaat dan menjadi referensi bagi pembaca, khususnya para mahasiswa, akademisi maupun praktisi yang bergelut dalam bidang ilmu air tanah.

Penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang, Prof. Ir. Muh. Anshar, M.Si., Ph.D dan Ketua Jurusan Teknik Sipil PNUP, Dr. Andi Muh. Subhan, S.T., M.T yang telah memberikan kesempatan kepada penulis dalam menyusun hingga diterbitkannya buku ini.

Penulis sebagai dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang, merasa tertarik dan terpanggil untuk menulis, berkat dorongan ayahanda almarhum. H. Abdul Azis Budjang dan ibunda tercinta almarhumah. Hj. Sitti Saleha Azis, isteri Prof. Dr. dr. Sutji Pratiwi

Rahardjo, Sp.T.H.T - B.K.L (K), dan putri tunggal tersayang dr. Cita Nurinsani Akhmad, S.Ked., M.Kes, anak mantu dr. Assadul Malik Oesman, S.Ked. serta cucunda tercinta Wildan Assadul Ihtsam. Untuk itu, penulis ucapkan penghargaan yang sangat tulus dari lubuk hati terdalam.

Kepada semua pihak, khususnya penerbit yang telah membantu merampungkan dan memungkinkan penerbitan buku ini, tidak lupa pula penulis ucapkan terima kasih. Akhirnya kepada para mahasiswa, akademisi dan praktisi yang tertarik untuk memiliki buku ini, penulis menghaturkan apresiasi yang tinggi.

Makassar, 12 Januari 2022

Penulis

Prof. Dr. Ir. Akhmad Azis, M.T.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR iii
DAFTAR ISI v
BAB I PENDAHULUAN 1
Latar Belakang 3
1. Penurunan permukaan air tanah (land subsidance) 4
2. Intrusi air laut 6
3. Penurunan muka air tanah 10
4. Penurunan kualitas air tanah 11
BAB II ISU KRISIS AIR TANAH 15
BAB III AIR TANAH 23
1. Aliran air tanah 28
2. Permeabilitas 32
3. Akuifer 38
BAB IV KARAKTERISTIK DAN KLASIFIKASI TANAH 45
1. Struktur Partikel Tanah 50
2. Sifat-sifat Fisik Tanah (Indeks Properties) 52
3. Klasifikasi Tanah 56
4. Hubungan Antar Fase 67
BAB V IMBUHAN BUATAN 71
a. Pemanenan air hujan 74
b. Sumur resapan dengan tangki modular 77
c. Sumur resapan dalam 79

d. Sumur resapan parit berorak 80
e. Lubang biopori 81
f. Kolam resapan 84
g. Infiltrasi melalui pipa bawah tanah 85
BAB VI WADUK RESAPAN 89
1. Fungsi Waduk Resapan 91
2. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pembuatan waduk resapan 93
3. Penelitian terdahulu 95
BAB VII PENGGUNAAN KOLOM PASIR PADA WADUK RESAPAN 99
1. Model fisik penggunaan kolom pasir 101
2. Kerapatan kolom pasir 103
3. Pengembangan rumus Darcy berdasarkan parameter penelitian 104
4. Hasil peneltian 105
DAFTAR PUSTAKA 109
PENULIS 119

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertumbuhan daerah perkotaan yang sangat pesat ditandai hadirnya kawasan permukiman dan industri, menyebabkan peningkatan kebutuhan air semakin tinggi pula, sehingga mengganggu keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Hal ini diperparah dengan ketidakmampuan pelayanan air bersih yang dilakukan oleh pemerintah melalui Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) untuk menjangkau seluruh wilayah dalam menyuplai kebutuhan air bersih akibat produksi yang terbatas serta banyaknya kebocoran pipa yang terjadi, sehingga kebutuhan masyarakat akan air bersih tidak terlayani 100%. Dengan demikian, untuk mendapatkan air bersih alternatif yang dilakukan oleh masyarakat/konsumen adalah menyedot air tanah dengan cara membuat sumur gali maupun dengan pengeboran. Di beberapa kota besar, pengambilan air tanah sudah begitu intensif. Banyak industri atau hotel yang memiliki sumur produksi hingga mencapai 20 sumur dengan pengambilan lebih dari 8.000 m^3 per hari (Kodoatie dan Sjarif, 2010).

Upaya penghematan air tanah telah dilakukan oleh pemerintah pusat maupun daerah dengan beberapa cara, di antaranya membatasi pemberian rekomendasi teknis dan penerbitan izin pemakaian atau izin usaha air tanah serta mengeluarkan PP 43/2008 tentang air tanah, dimana pasal 42 berbunyi penghematan dilakukan dengan cara menggunakan air tanah secara efektif dan efisien untuk berbagai macam kebutuhan, mengurangi penggunaan air tanah, menggunakan kembali air tanah, mendaur ulang air tanah,

mengambil air tanah sesuai dengan kebutuhan, menggunakan air tanah sebagai alternatif terakhir dan mengembangkan dan menerapkan teknologi hemat air, memberikan insentif bagi pelaku penghematan air tanah, dan/atau memberikan disinsentif bagi pelaku pemborosan air tanah, namun upaya yang telah dilakukan pemerintah belum maksimal oleh karena krisis air tanah masih terjadi hingga saat ini hampir di semua daerah di Indonesia.

Keberadaan air tanah sangat erat hubungannya dengan air permukaan, jika tinggi muka air tanah mengalami penurunan yang berkelanjutan akibat eksploitasi berlebihan, maka menurut Tresnadi (2007) akan menimbulkan :

1. Penurunan permukaan tanah (*land subsidance*)

Amblesan tanah merupakan proses penurunan muka tanah yg terjadi secara alamiah karena konsolidasi pada lapisan tanah dangkal dan lapisan tanah lunak maupun karena penurunan tekanan air tanah pada sistem akuifer di bawahnya akibat pengaruh kegiatan manusia di atas permukaan tanah dan pengambilan air tanah.

Pengambilan air tanah yang berlebihan, akan menimbulkan ruang kosong di bawah tanah yang memungkinkan turunnya daya dukung tanah oleh karena terjadi penurunan karakteristik kekuatan mekanik tanah atau pengurangan gaya angkat tanah sehingga terjadi peningkatan tegangan efektif tanah. Akibat meningkatnya tegangan efektif ini, akan menyebabkan penyusutan butiran tanah sehingga terjadi penurunan tanah atau amblesan (Indriatmoko dan Herlambang, 2005). Fenomena ini dapat dilihat di bagian barat dari San Joaquin di California. Permukaan tanahnya turun sebesar 3 m

antara tahun 1932 sampai 1954 akibat pemompaan air tanah dari lapisan akuifer yang berlebihan (Linsley dan Franzini, 1996). Demikian pula beberapa lokasi di Bandung mengalami penurunan tanah antara tahun 2000 – 2002 berkisar 7 cm hingga 52 cm dengan kecepatan penurunan sebesar 2 – 18 mm/bulan. Sedangkan di Jakarta bagian Utara, kecepatan penurunan antara 1,3 – 12 cm/tahun (Kodoatie dan Sjarif, 2010). Sementara di Semarang, sejumlah pakar telah meneliti, laju amblesan tanah akan terus terjadi setiap tahunnya bahkan sampai 2013 akan terus terjadi sepanjang pemerintah melakukan pembiaran terhadap pengambilan air tanah. Tercatat dari tahun 2000 sampai 2001, amblesannya mulai dari 2 cm hingga lebih dari 8 cm. Hasil penelitian menunjukkan pula sampai tahun 2013, kawasan-kawasan merah di sepanjang pesisir Semarang diprediksikan bisa hilang. Dari data yang dikumpulkan mulai 1972 sampai 2006 sebenarnya di Terboyo Kulon dan Trimulyo banyak kawasan yang hilang sampai perbatasan kabupaten Demak. Di Tambakharjo pun ada luas sekitar 1.462 km^2 telah hilang. Total wilayah yang hilang di kawasan pesisir ada 30.914 km^2 atau 8,033% dari luasan Kota Semarang 384.838 km^2 (Setiyanto, 2002).

Penurunan permukaan tanah dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan berupa retak-retak, amblesan tanah seperti kejadian di ruas jalan Yos Sudarso Jakarta Utara yang menjadi jalur vital penghubung ke Tanjung Priok pada tanggal 16 September 2010 lalu (lihat Gambar 1), dan penurunan pondasi yang mengakibatkan pemiringan bangunan yang dapat dilihat pada menara miring di daerah Sunda Kelapa, Jakarta Utara. Menurut Suripin (2004),

dampak dari amblesan tanah ini dapat pula mengakibatkan terjadinya pembalikan arah sistim drainase pada bagian kota yang berada di bawah muka air laut pasang, sehingga sistem drainase gravitasi terganggu dan akan mengakibatkan terjadinya bahaya banjir pasang air laut atau yang biasa dikenal sebagai banjir rob. Berdasarkan hasil penelitian Setiyanto (2002), faktor yang paling berpengaruh terhadap banjir rob di kecamatan Semarang Utara adalah perkembangan lahan terbangun serta struktur lapisan tanah. Struktur lapisan tanah penyusun wilayah studi merupakan tanah dengan daya dukung yang sangat jelek sehingga sangat mempengaruhi tingkat penurunan muka tanah yang terjadi dan kebutuhan air bersih untuk kegiatan kota hampir 70% - 90% menggunakan air tanah. Pengambilan air tanah secara kontinyu menyebabkan terjadinya penurunan muka tanah sedikit demi sedikit.

Gambar 1. Amblesan tanah (Taufiqqurahman, 2010)

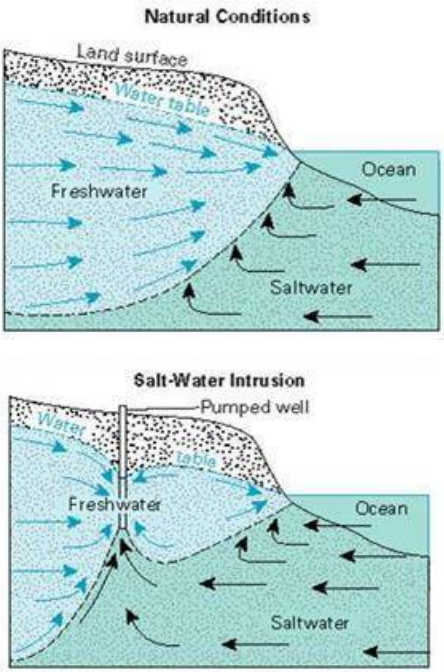
2. Intrusi air laut

Pada masa yang akan datang, kebutuhan air akan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan dan perkembangan sosial budaya masyarakat. Sementara distribusi sumber daya air adalah terbatas dan tersebar tidak merata dalam ruang dan waktu akibat

perbedaan kondisi geografi, iklim dan perubahan tata guna lahan. Pemanfaatan air yang berlebihan dan penggunaan air yang tidak terarah dapat menyebabkan pencemaran dan penurunan kualitas dan kuantitas air tanah serta mangurangi daya dukung air tanah sebagai sumber daya vital bagi kehidupan.

Pada sistem hidrologi, secara alamiah keberadaan air tanah di suatu wilayah adalah seimbang antara masukan dan keluaran. Masukan berasal dari infiltrasi air hujan sedangkan keluaran dari mata air dan pengambilan air oleh manusia. Keseimbangan dalam sistem hidrologi akan terganggu oleh dinamika pembangunan kota yang dilakukan oleh manusia, meningkatnya penggunaan sumber daya air akibat bertambahnya jumlah penduduk dan menurunnya kemampuan infiltrasi akibat penggunaan tata guna lahan yang tidak tepat. Gangguan tersebut dapat menyebabkan penurunan muka air tanah dan mengakibatkan terjadi intrusi air laut (Indriatmoko dan Herlambang, 2005). Intrusi air laut merupakan peristiwa masuknya air laut ke dalam akuifer dalam air tanah. Peristiwa ini bisa terjadi oleh beberapa hal, antara lain perubahan fungsi lahan dan penebangan hutan bakau serta banyaknya penduduk dan kawasan industri di kota-kota besar yang letaknya dekat dengan pantai dan memanfaatkan air tanah untuk keperluan air bersih, apalagi dilakukan secara besar-besaran dan mengakibatkan perubahan kesetimbangan hidraulik antara tekanan air tawar dan air laut, menyebabkan masuknya air laut ke arah darat seperti terlihat pada Gambar 2. Selain itu, karakteristik pantai dan batuan penyusun, serta fluktuasi air tanah di daerah pantai turut berperan terjadinya intrusi

air laut yang merupakan salah satu penyebab terjadinya penurunan kualitas air tanah. Penurunan kualitas air tanah dapat dilihat dari tingkat salinitas air tanah berdasarkan kadar ion klorida yang ditunjukan dengan nilai padatan terlarut total dan nilai daya hantar listrik air tanah. Menurut Husni (2010) intrusi air laut menyebabkan air tanah berubah dari tawar menjadi payau, hingga asin.



Gambar 2. Proses terjadinya intrusi air laut (Vienastra, 2010)

Apabila fluktuasi air tanah tinggi, maka kemungkinan intrusi air laut lebih mudah terjadi pada kondisi air tanah berkurang. Rongga yang terbentuk akibat air tanah rendah, maka air laut akan mudah untuk menekan air tanah dan mengisi cekungan/rongga air tanah. Jika fluktuasinya tetap, maka secara alami akan membentuk

interface yang keberadaannya tetap. Menurut Ashriyanti (2011), proses terjadinya intrusi air laut berkaitan dengan proses perubahan posisi *interface*. Pada daerah yang berdekatan dengan pantai atau dekat dengan laut, terjadi pertemuan antara air laut dengan air tawar yang dikenal dengan sebutan *interface. Interface* bisa bergerak ke arah laut dan bisa juga bergerak ke arah daratan tergantung besar kecilnya imbuhan air hujan. Apabila imbuhan air hujan sangat besar, maka interface akan bergerak ke laut, sedangkan imbuhan air hujan sedikit atau tidak ada sama sekali, maka *interface* akan bergerak ke arah daratan. Perubahan debit aliran air tanah yang menuju ke laut oleh imbuhan atau perubahan luar aliran dalam daerah air tawar, menyebabkan perubahan *interface*.

Salah satu dampak negatif dari terjadinya intrusi air laut adalah timbulnya perubahan kualitas air tanah oleh karena telah menjadi payau bahkan asin, sehingga air tanah tidak dapat digunakan sebagai air baku untuk keperluan sehari-hari (Vienastra, 2010). Walaupun dampak intrusi akan muncul secara berkala dan untuk jangka waktu yang lama, jika didiamkan saja tanpa ada upaya mencegahnya, tentu saja akan menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi masyarakat, terutama kerugian secara ekonomis yang diderita karena rembesan dan pengikisan air laut, sebab tanah-tanah di tepi pantai akan berkurang dan kalau dinominalkan, akan besar sekali.

Intrusi air laut juga berdampak pada kesehatan, oleh karena air payau mengandung NaCl (Natrium Chloride) yang tinggi dan dapat mengganggu metabolisme yang terjadi di dalam tubuh

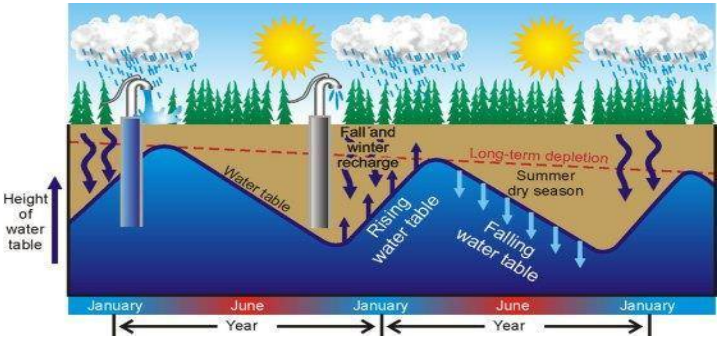
manusia. Penggunaan air payau untuk dikonsumsi dapat menyebabkan seseorang terkena penyakit perut seperti diare dan bila dikonsumsi dalam jangka panjang akan mengalami sensivitas tubuhnya untuk menerima air payau yang mengandung garam. Sedangkan bila digunakan untuk mandi, dapat memicu munculnya penyakit kulit seperti gatal-gatal (Rubianto, 2010). Intrusi air laut telah menjadi masalah di kota-kota besar antara lain DKI Jakarta, dimana selama periode 1984 – 2006, intrusi air laut telah mencapai lebih dari 30% dari total luas DKI Jakarta. Sebarannya mencakup seluruh wilayah Jakarta Utara, sebagian Jakarta Barat yang meliputi wilayah Cengkareng dan Kalideres (Ashriyanti, 2011).

3. Penurunan muka air tanah

Perbandingan antara air yang masuk ke dalam tanah dan yang diambil (dipompa) sangat tidak seimbang, mengakibatkan terjadi penurunan muka air tanah. Tanda-tanda penurunan muka air tanah terlihat pada berkurangnya jumlah air di dalam sumur, keringnya mata air pada musim kemarau serta timbulnya banjir di musim hujan seperti terlihat pada Gambar 3. Perubahan lingkungan hidup sebagai akibat dari proses pembangunan, berupa pembukaan lahan, penebangan hutan serta pembangunan pemukiman dan industri diduga menyebabkan terjadinya hal tersebut di atas (Hutasoit, 2009).

Menurut para ahli, penurunan muka air tanah di kota Jakarta mencapai 0,5 – 12 cm/tahun, sedangkan kenaikan air laut sekitar 0,9 cm/tahun. Dengan demikian, dapat diperkirakan bahwa kota Jakarta akan tenggelam dalam waktu 50 tahun ke depan. Kondisi tersebut

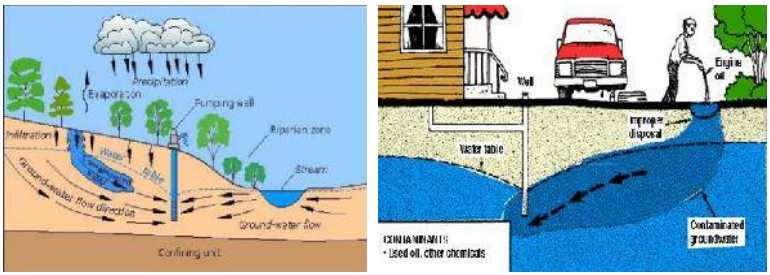
diperkirakan akan terjadi di kota-kota besar lainnya di Indonesia (Kusnaedi, 2011).



Gambar 3. Penurunan muka air tanah (Ashriyanti, 2012)

4. Penurunan kualitas air tanah

Penurunan kualitas air tanah yang diakibatkan oleh pemompaan air tanah berlebihan adalah kosongnya lapisan-lapisan tanah sehingga air dari sumber pencemaran merembes masuk dalam air tanah (lihat Gambar 4). Di daerah perkotaan sebagian besar sumur penduduk tidak bisa digunakan lagi untuk kegiatan sehari-hari, karena banyak bahan pencemar yang masuk. Kekeruhan dan warna dapat terjadi karena adanya zat-zat koloid berupa zat-zat yang terapung serta terurai secara halus. Disamping itu pula kehadiran amonia dalam air yang berasal dari rembesan lingkungan yang tidak bersih (Nyer, 2009).



Gambar 4. Pencemaran air tanah (Nyer, 2009)

Eksploitasi air tanah yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan daya dukung air tanah, yang kemudian akan menyebabkan penurunan kualitas air tanah sehingga partikel-partikel berbahaya seperti bakteri E.Coli menjadi dominan dan pada akhirnya akan membahayakan kesehatan masyarakat. Dengan mengkonsumsi air dengan kualitas yang buruk dapat menyebabkan berbagai macam penyakit berkembang di dalam tubuh. Jika digunakan untuk mencuci, maka pakaian berwarna putih akan berubah warna menjadi kuning (Titik, 2012).

Untuk mengatasi permasalahan air tanah tersebut di atas, maka harus dilakukan imbuhan (*recharge*) ke dalam reservoir air tanah dengan mempercepat peresapan ke dalam tanah, namun pertumbuhan dan perkembangan pembangunan kota-kota besar yang sangat cepat, telah merubah fungsi daerah resapan yang bersifat permeabel menjadi impermeabel karena permukaannya telah tertutupi oleh bangunan. Pengalihan fungsi lahan tersebut menyebabkan tidak ada lagi area terbuka yang berfungsi sebagai areal resapan yang berfungsi meresapkan air di musim hujan sehingga sebagian besar air hujan yang turun menjadi aliran permukaan menyebabkan terjadinya banjir di musim hujan dan kekurangan air tanah di musim kemarau. Untuk meningkatkan kembali resapan air hujan, telah diupayakan dengan membangun sumur resapan, lubang biopori maupun teknik resapan lainnya, namun hasilnya belum maksimal. Oleh karena itu pembangunan waduk resapan yang sementara digalakkan pemerintah saat ini bisa menjadi solusi.

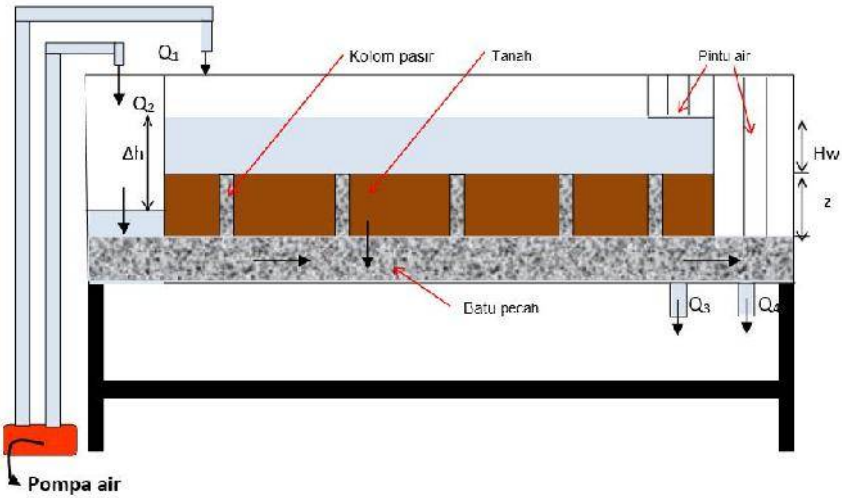
1. Model fisik penggunaan kolom pasir

Saat ini kolom pasir banyak digunakan sebagai drainase vertikal yang bertujuan untuk meningkatkan laju konsolidasi pada lapisan tanah lunak yang sebagian besar memiliki butir-butir sangat kecil, kemampatan besar serta koefisien permeabilitas yang kecil. Selain itu, drainase vertikal mempunyai tujuan untuk mengurangi panjang lintasan pengaliran sehingga jarak antara drainase harus lebih kecil daripada lapisan tanah, sebab tidak ada gunanya menggunakan drainase vertikal dalam lapisan yang tipis (Joleha, 2001).

Pada penelitian yang dilakukan Azis (2013), kolom pasir difungsikan sebagai median untuk meresapkan air waduk resapan ke lapisan akuifer. Metode tradisional dalam membuat kolom pasir adalah dengan membuat lubang bor pada lapisan lempung yang memiliki permeabilitas kecil dan mengisi kembali dengan pasir yang bergradasi. Pasir harus dapat dialiri air tanpa membawa partikel–partikel tanah yang halus.

Menurut Liong (2000), tanah berbutir kasar permukaan spesifiknya kecil (tanah pasir bersih berpermukaan spesifik sekitar 10^{-4} m^2/g), karena itu gaya permukaannya dapat diabaikan relatif terhadap berat sendirinya, artinya gaya berat sendiri jauh lebih dominan dari gaya tarik menarik permukaan. Karena itu susunan antar partikel-partikel tanah berbutir kasar dikatakan struktur butiran tunggal dan tersusun bagaikan kumpulan bola-bola yang dipaking secara random. Setiap partikel tanah pasir dan kerikil berkaitan dengan partikel lain tanpa ikatan atau dikatakan tanpa kohesi. Jadi

pasir dan kerikil merupakan tanah non kohesif. Akibat dari gaya berat sendiri yang jauh lebih dominan dari gaya permukaan, maka perilaku pasir dan kerikil tidak dipengaruhi air, distribusi partikel merupakan parameter yang relevan. Pengaruh air hanya tampak untuk pasir halus lepas yang jenuh air dan mengalami pembebanan dinamis



Gambar 29. Konsep waduk resapan dengan kolom pasir (ilustrasi)

Gambar 29 di atas, memperlihatkan sketsa penggunaan kolom-kolo m pasir tersebut dengan prinsip air yang berasal dari air permukaan ditampung pada waduk dengan ketinggian tertentu. Kemudian air di alirkan melalui kolom-kolom pasir dengan harapan pasir yang memiliki nilai koefisien permeabilitas besar, bisa mempercepat dan memperbesar terjadinya imbuhan, sekaligus menjadi filtrasi agar air yang masuk ke dalam lapisan akuifer sudah dalam keadaan bersih.

Pada kondisi lapangan, kolom pasir dapat dibuat dalam berbagai diameter tergantung ketersediaan peralatan pengeboran, sedangkan tingginya dibuat sama dengan tebal lapisan tanah yang di ukur dari dasar waduk resapan hingga permukaan lapisan akuifer. Jumlah kolom pasir dibuat berdasarkan ketersediaan debit masukan, baik dari air permukaan maupun air hujan serta kemampuan lapisan akuifer menampung debit imbuhan. Model waduk ini, sebaiknya tidak ditempatkan pada daerah yang memiliki tekanan piezometrik lapisan akuifer yang besar sebab akan menyulitkan dalam pelaksanaan serta dikerjakan pada saat tanah dalam kondisi kering.

2. Kerapatan kolom pasir

Kerapatan kolom pasir merupakan perbandingan antara luas permukaan kolom pasir (A') dengan luas permukaan waduk resapan (A), atau dapat ditulis dalam bentuk persamaan :

$$A' = \frac{1}{4}\pi\, d^2\, N_{kp} \quad \text{.....} \quad (23)$$

$$ƨ = \frac{A'}{A} \quad \text{.....} \quad (24)$$

dimana :

ƨ = kerapatan kolom pasir

d = diameter kolom pasir

N_{kp} = jumlah kolom pasir

Berdasarkan persamaan di atas, kerapatan kolom pasir berbanding lurus dengan luas permukaan kolom pasir yang merupakan fungsi dari diameter kolom pasir dan jumlah kolom pasir. Semakin besar luas permukaan kolom pasir, maka kerapatan semakin besar pula.

3. Pengembangan rumus Darcy berdasarkan parameter penelitian

Pada penelitian yang dilakukan Azis (2013), parameter-parameter yang berpengaruh terhadap besarnya debit imbuhan air tanah adalah beda tinggi energi, jumlah kolom pasir, diameter kolom pasir, tebal lapisan tanah/tinggi kolom pasir dan tinggi air waduk. Besarnya imbuhan air tanah (Q_a) adalah jumlah debit air masuk akuifer melalui lapisan tanah (Q_{at}) serta kolom pasir (Q_{kp}) dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q_a = Q_{at} + Q_{kp} \quad \text{.....(25)}$$

Berdasarkan parameter penelitian, maka diperoleh persamaan

$$Qat = k_1 . \frac{\Delta h}{z} . (A - \frac{1}{4}\pi . d^2 . N_{kp}) \quad \text{.....(26)}$$

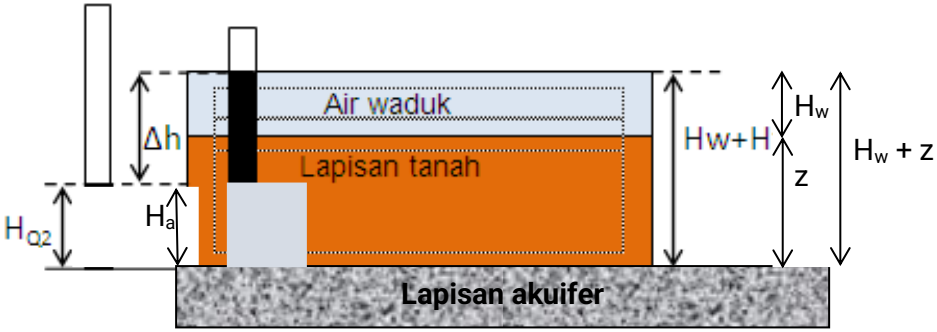
$$Qkp = k_2 . \frac{\Delta h}{z} . \frac{1}{4}\pi . d^2 . N_{kp} \quad \text{.....(27)}$$

Selanjutnya persamaan 26 dan 27 di substitusi ke persamaan 25, menjadi :

$$Qa = k_1 . \frac{\Delta h}{z} . (A - \frac{1}{4}\pi . d^2 . N_{kp}) + k_2 . \frac{\Delta h}{z} . \frac{1}{4}\pi . d^2 . N_{kp} \quad \text{.....(28)}$$

Dari Gambar 30, diperoleh beda tinggi energi yang merupakan penjumlahan antara tinggi air waduk dan tebal tanah/tinggi kolom pasir dikurang tinggi tekanan piezometrik akuifer. Bentuk persamaannya sebagai berikut :

$$\Delta h = (H_w + z) - H_a \quad \text{.....(29)}$$



Gambar 30. Beda tinggi energi (Ilustrasi)

dimana : Q_a = debit imbuhan air tanah (cm^3/det)

Q_{at} = debit imbuhan melalui lapisan tanah (cm^3/det)

Q_{kp} = debit imbuhan melalui kolom pasir (cm^3/det)

k_1 = koefisien permeabilitas tanah (cm/det)

k_2 = koefisien permeabilitas pasir (cm/det)

Δh = beda tinggi energi (cm)

H_w = tinggi air waduk (cm)

H_a = tinggi tekanan piezometrik akuifer (cm)

z = tebal lapisan tanah/tinggi kolom pasir

A = luas permukaan waduk

A' = luas permukaan kolom pasir (cm^2)

d = diameter kolom pasir (cm)

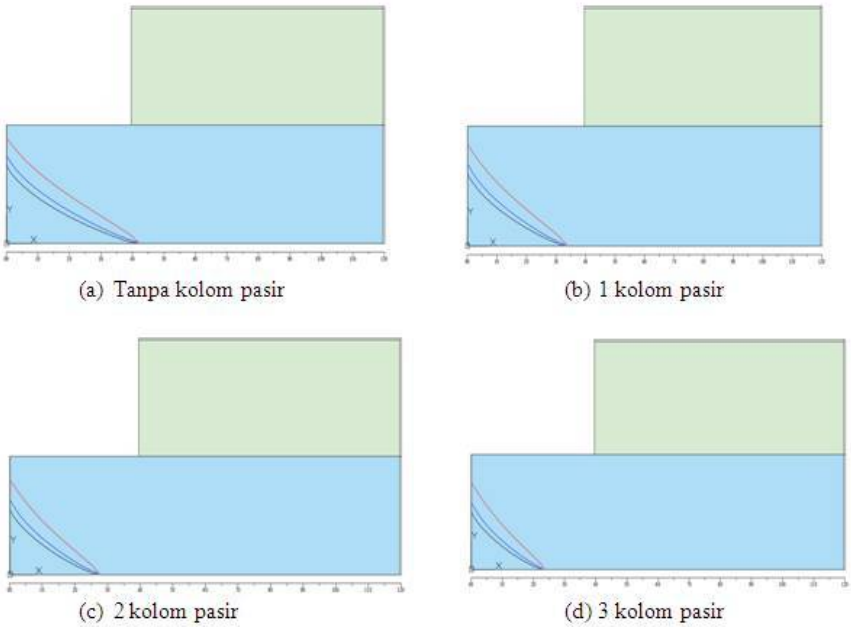
N_{kp} = jumlah kolom pasir

4. Hasil Penelitian

Hasil penelitian Azis (2013) terhadap penggunaan kolom pasir pada waduk resapan menggunakan model fisik, menunjukkan bahwa besarnya debit imbuhan air tanah dipengaruhi oleh beda

tinggi energi, pada semua tinggi kolom pasir dan semua kerapatan. Untuk peningkatan beda tinggi energi 23,12%, persentase kenaikan debit rata-rata sebesar 23,14%. Tinggi kolom pasir juga berpengaruh terhadap debit masuk akuifer. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan debit imbuhan air tanah menurun seiring dengan meningkatnya tinggi kolom pasir. Peningkatan tebal lapisan tanah/tinggi kolom pasir sebesar 16,67%, terjadi penurunan debit sebesar -1,95%. Penggunaan kolom pasir sangat berpengaruh pada debit imbuhan air tanah di berbagai variasi kerapatan kolom. Debit imbuhan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kerapatan kolom pasir. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis, diperoleh persentase kenaikan debit imbuhan sebesar 745,03% akibat peningkatan kerapatan kolom pasir sebesar 726,31%.

Selain dapat meningkatkan debit imbuhan air tanah ke lapisan akuifer sebagai cadangan air tanah, waduk resapan dengan menggunakan kolom pasir berdasarkan hasil penelitian Azis dkk. (2019) dapat memperpendek intrusi air laut. Sesuai hasil analisis dengan menggunakan model numerik *Seawa t7* dan model uji fisik, pada tinggi muka air waduk (Hw) = 10 cm dengan menggunakan satu kolom pasir, terjadi penurunan panjang intrusi air laut sebesar 39,44%; dua kolom pasir sebesar 60,08%; tiga kolom pasir sebesar 71,18% jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan kolom pasir.



Gambar 31. Panjang intrusi air pada berbagai jumlah kolom pasir

DAFTAR PUSTAKA

Alturbak, A. 1991. Effectiveness of Recharge from A Surface Reservoir to An Underlying Unconfined Aquifer, *IAHS Publ*, 206 : 191 : 195

Anuraga T, S., Ruiz, L., Kumar, M, S, M., Sekhar, M, Leijnse, A. 2006. Estimating groundwater recharge using land use and soil data : A case study in South India. A*gricultural water management Journal*, 84 : 6 5 – 7 6

Arfan, H. 2011. *Pengujian Karakteristik Resapan Dengan Variasi Intensitas Curah Hujan, Tingkat Kepadatan, dan Gradasi Tanah Daerah Pesisir*. Prosiding PIT XXVII HATHI, Ambon

Ashriyanti, H. 2011. *Kajian Kerentanan pada Wilayah Terintrusi Air laut di DKI Jakarta*. Tesis tidak dipublikasikan. FMIPA PPS Ilmu Geografi UI, Depok.

ASTM. 2005. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. *ASTM D4318-05*, West Conshohocken, Pa.

ASTM. 2006a. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). *ASTM D854-06*, West Conshohocken, Pa.

ASTM. 2006b. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. *ASTM D854-06*, West Conshohocken, Pa.

Batak Pos , 5 Desember 2009, *Kebocoran Produksi Air PDAM Pekanbaru capai 40%* (Online), (http://www.batakpos-online.com, diakses 24 September 2011)

Bhattacharya, A. K. 2010. Artificial Groundwater Recharge with A Special Reference To India. *IJRRAS,* 4 : 214 - 221roundwater Recharge In The Victoria Nile t

Bloetscher, F., Muniz, A., Witt, G. M. 2005. *Groundwater Injection Modelling, Risk and Regulation.*The Mac Graw-Hill Companies, USA.

Bouwer, H. 2002. Artificial Recharge of Ground Water : Hydrogeology and Engineering. *Hydrogeology Journal*, 10 : 121-142

Broto, S., Susanto, H. 2008. Perancangan Model Pendugaan Efektifitas Waduk Resapan Kota Bogor terhadap Optimalisasi Akuifer Airtanah. *Jurnal Teknik*, 29 : 220 – 227.

Busthan, A., Imran, A. M. 2008. *Pengaruh Laju Infiltrasi Terhadap Wilayah-Wilayah Banjir Kota Makassar Provinsi Sulawesi Selatan.*Prosiding Hasil Penelitian, Fakultas Teknik Unhas. Makassar, Vol. 2/ISBN: 978-979-127255-0-6, hal TG3-1/6.

Das, B.M.1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1 dan 2*. Penerbit Erlangga, Jakarta

Dierkes, C., Benze, W., Wells, J. 2002. *Sustainable Urban Drainage And Pollutant Source Control By Infiltration.* Stormwater Industry Association 2002 Regional Conference, Orange, NSW

Djudi. 2006. *Kajian Waduk Resapan Tambakboyo, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman, Propinsi DI Yogyakarta.* Tesis tidak diterbitkan. Bandung : Program Magister Teknik Sipil ITB

Hadian, S. 2006. Sebaran Akuifer dan Pola Aliran Airtanah di Kecamatan Batu ceper dan Kecamatan Benda KotaTangerang, Propinsi Banten. *Jurnal Geologi Indonesia*, 1 : 115 – 128

Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta

Hargono, B. 2011. *Belajar Dari Embung Tambakboyo Di Yogyakarta Untuk Mengatasi Masalah Sumber Daya Air Di Pulau-Pulau Kecil Dan Pantai*. Prosiding PIT XXVII HATHI, Ambon

Husni, A. Santoso. 2010. *Sebaran TDS, DHL, Penurunan Muka Air Tanah dan Prediksi Intrusi Air Laut di Kota Tangerang Selatan*. Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fateha IPB. Bogor

Hut, R., Ertsen, M., Joeman, N., Vergeer, N., Winsemius, H., Giesen, Van de. 2008. Effects of Sand Storage Dams on Groundwater Levels with Examples from Kenya. *Science Direct, Physics and Chemistry of Earth Journal* 33 : 56-56

Hutasoit, L. M. 2009. Kondisi Permukaan Airtanah dengan dan tanpa peresapan buatan di daerah Bandung : Hasil Simulasi Numerik. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 4 No. 3 : 177-188

Imran, A. M., Ramli, M., Susilawati. 2008. *Sistem Akifer Airtanah Dangkal Kota Makassar*. Konferensi & Seminar Nasional XX BKPSL, Pekanbaru

Indriatmoko, R. H., Herlambang, A. 2005. Pengelolaan air tanah dan intrusi air laut. *Jurnal air Indonesia*, 2 : 211 – 225

Joleha. 2001. Analisa Drainase Vertikal Untuk Mempercepat Konsolidasi Pada Tanah Lunak. *Jurnal Natur Indonesia*. Vol. 4 No. 1

Kodoatie,R.J., Sjarief,R. 2008. *Pengelolaan Sumber daya Air Terpadu*. Andi, Yogyakarta

Kodoatie, R.J., Sjarief, R.2010.*Tata Ruang Air*. Andi, Yogyakarta

Kurniawan, A., Nugroho, A. T., Apriyono, T., Widiatmoko, D. A. 2008.

Konstruksi Akuifer Buatan dengan Modified Clay-Sand Contact Method (Model Cone of Depression). Research and Development of Geoscience and Environmental Matter, Magelang

Kusnaedi. 2011. *Sumur Resapan Untuk Pemukiman dan Perkotaan*. Swadaya. Jakarta.

Linsley, R.K., Franzini,J.B. 1996, *Teknik Sumber daya Air*, Erlangga, Jakarta

Lubis, K. S. 2007. *Kehantaran hidraulik dan permeabilitas*. Skripsi, tidak diterbitkan. Medan : Fakultas Pertanian USU

Liong, G. T. 2000. *Klasifikasi Tanah*. Bahan Workshop. Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia, Jakarta

Media Indonesia, Digilib. 17 Maret 2004. *Waduk Resapan Atasi Banjir dan Kekeringan*, (Online), (http://www.mediaindonesia.com, diakses 20 Juli 2011)

Munir, A., Suhardi., Achmad, M. 2009. Model Simulasi 2D-Geospasial untuk Penilaian Dampak Pemompaan Airtanah di Pesisir Kabupaten Jeneponto Sulawesi Selatan. Makalah, Seminar Nasional GeoCampus, Makassar

Nyer, E. K. 2009. *Groundwater Treatment Technology*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada

Oblinger, J. A., Stephen, M.J., Moysey, S. M. J., Ravindrinath, R., Guha, C. 2010. A pragmatic method for estimating seepage losses for small reservoirs with application in rural India. *Journal of Hydrology*, 385 : 230–237

Patanduk, J. 2012. Efektifitas Resapan Tipe Trapesium Berpori Fungsi Kendali Banjir Pada Lahan Marginal Perkotaan. Disertasi tidak dipublikasikan. Makassar : Program pasca Sarjana Universitas Hasanuddin

Pedretti , D., Palomo, M. B., Bolster, D., Garcia, D. F., Vila, X. S., Tartakovsky, D. M. 2012. Probabilistic analysis of maintenance and operation of artificial recharge ponds, *Advances in Water Resources Journal*, 36 : 23–35

Pramono, R. 1999. Permasalahan Air Di Perkotaan Dan Perilaku Masyarakat. *Jurnal Studi Permbangunan, Kemasyaratan & Lingkungan*, 3 : 39-45

Pramudya. 2009. *Teknologi Artificial Recharge Airtanah Dalam Mengatasi Banjir dan Kekeringan*. (Online), (http://seputarbencana.wordpress. com, diakses 14 September 2012).

Putranto, T., Kusuma. 2009. Permasalahan Airtanah di Daerah Urban. *Jurnal Teknik*, 30 : 48 – 56

Puradimaja, D. 1997. Permasalahan Airtanah dan Peluang Risetnya. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, 21 : 22 – 30

Rahmat. 2012. *Resapkan Air Hujan Menjadi air Tanah*. (Online), (http://www.biopori.com, diakses 14 Februari 2012).

Ribianto. 2010. Air Payau Akibat Intrusi Air Laut. (Online), (http://pdpersi.co.id, diakses 30 Desember 2012).

Rizal, M.T. 2009. *Analisis Pemetaan Zonasi Resapan Air Untuk Kawasan Perlindungan Sumber daya Air Tanah (Groundwater) PDAM Tirtanadi Sibolangit Kabupaten Deli Serdang Propinsi Sumatera Utara*, Tesis tidak diterbitkan, Medan : Sekolah Pascasarjana USU.

Samang,L.,2010. *Utilization Investigation Of Dredging Sediment Of Bili-Bili Reservoir for Urgent Disaster Reduction for Mt. Bawakaraeng, South Sulawesi*. Draft Final Report, Soil Mechanic Laboratory, Dept. of Civil Engineering, Hasanuddin University

Sangadji, E.M., Sopiah. 2010. *Metodologi Penelitian Pendekatan Praktis dalam Penelitian*, Andi, Yogyakarta

Santoso. 1998. *Aplikasi Excel dalam Statistik Bisnis*. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta

Satyawan, M. A., Ayuningtyas, M., Pratama, N., Iman, M.S. 2009. *Macam-Macam Akuifer Dan Analisis Kondisi Hidrogeologi Kota Banjar Baru*. Laporan tidak diterbitkan, Banjarmasin : Teknik Lingkungan FT- Universitas Lambung Mangkurat

Seputar Indonesia. 20 Maret 2011. *Sanksi Hukum Masih Lemah.* (Online), (http://www.seputarindonesia.com, diakses 20 Agustus 2011)

Sen, Z., Al-Suba'i, K. 2009. Hydrological Considerations For Dam Siting In Arid Regions : A Saudi Arabian Study. *Hydrological Sciences Journal*, 47:2 , 173-186

Setiadi, B. D. 2011. *Analisis Dimensi Bangunan Resapan Air Hujan Untuk Lahan Pekarangan*.Tesis tidak diterbitkan, Yogyakarta : Program Pascasarjana Fakultas Teknik UGM

Setiawan, B. I., Fukuda, T., Nakano, Y. 2003. Developing Procedures for Optimation of Tank Models Parameters. *Journal of Scientific Research and Development,* Manuscript L W 01 006

Setiawan, B. I., Rudiyanto, Abdullah, K., 4 Juni 2010. *Perancangan Model pendugaan Efektifitas Waduk resapan*. (Online), (http://www.bebasbanjir2025.wordpress. com, *diakses 9 Maret 2012)*

Setiyanto,H. 2002. *Studi Pengaruh Penurunan Muka Tanah Dan Pasang Air Laut Terhadap Banjir Rob Di Kecamatan Semarang Utara*. Tugas Akhir Tidak Diterbitkan, Semarang : Jurusan Perencanaan Wilayah Dan Kota Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Shirley. 1994. *Geoteknik dan Mekanika Tanah*. Nova, Bandung

Silaban, T. 19 Maret 2009. *Krisis Air Dunia 2050*. (Online), (http://www.news. yahoo.com /unenvironmentwater, di akses 17 Juli 2011)

Singh, V. P., Woolhiser, D. A. 2002. Mathematical Modeling Of Watershed Hydrology. *Journal Of Hydrologic Engineering*, 1068 : 270 - 292

Soedarmo, G. D., Purnomo, S.J. E. 2001. *Mekanika Tanah 1*. Kanisius, Yogyakarta

Soenarto, B. 2007. Teknik Sumur Injeksi untuk Pengendalian Banjir Dan Keperluan Lain serta Berbagai Teknik Ekivalen Lainnya. *Jurnal Sumber daya Air*, 3 : 49 – 62

Sudinda, T. 17 Maret 2004.*Waduk Resapan Atasi Banjir dan Kekeringan*. (Online), (http://www.mediaindonesia.com, diakses 20 Juli 2011)

Sudinda, T. 2004. *Simulasi Potensi Waduk Resapan Pada Akifer Tertekan Dengan Metoda Finite Difference*. Jurusan Teknik Sipil FTSP Trisakti, Jakarta

Sudjarwadi., Pandu, M., Anton, B., Asriningtyas, V. 2008. *Pengembangan Sumber daya Air*. JTS FT UGM, Yogyakarta

Sugiharto. 2004. *Karakteristik akuifer airtanah dangkal dengan sumur tunggal dan ganda*. Skripsi tidak diterbitkan, Makassar, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Unhas

Sugiyono.2009. Metode Penelitian Pendidikan, Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Penerbit Alfa Beta, Bandung.

Suharyadi. 2006. *Pengantar Geologi Teknik*. Biro Penerbit Teknik Sipil UGM, Yogyakarta

Sunjoto. 2011. *Teknik Drainase Pro-Air*. Proceeding Seminar Nasional-1 BMPTTSSI - KoNTekS 5, Medan

Sunjoto. 2012. *Subsurface Hydrology*. Post Graduate Program Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Gadjah Mada University, Yogyakarta

Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi, Yogyakarta

Susilowati, Y. 2006. *Pemodelan Cekungan Airtanah Jakarta Untuk Pengelolaan Sumber daya Air yang Berkelanjutan Di Kawasan Jabopunjur*. Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Jakarta

Taufik, A.2009. *Teknologi Sumur Imbuhan Berbasis Aquifer Storage and Recovery (ASR)*. Balai BHGK, Pusat Litbang SDA), Jakarta

Taufiqqurahman, M. 16 September 2010. *Setiap Tahun Jalan RE Martadinata Ambles 6 Cm*. (Online), (http://www.detiknews.com, diakses 14 Februari 2012)

Teague, N. F. 2010. *Near Surface Infiltration Measurements And The Implications For Artificial Recharge*, A Thesis, No Publish, USA, Faculty Of Geological Sciences San Diego State University

Tempo Interaktif. 1 Maret 2011. *Krisis Airtanah Jakarta Berbahaya*. (Online), (http://www.tempointeraktif.com, diakses 2 September 2011).

Titik Sulastri. 2012. *Kualitas Air Makin Menurun*. Pantona News. Jakarta

Tresnadi, H. 2007. Dampak Kerusakan yang Ditimbulkan Akibat Pengambilan Airtanah yang Berlebihan. *Jurnal Alami*, 12 : 76 – 81

Triatmodjo, B. 2003. *Hidraulika II*. Beta offset, yogyakarta

Wahyudi, H. 2009. Kondisi dan Potensi Dampak Pemanfaatan Airtanah di Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Aplikasi*, 7 : 14 – 19

Waspodo, R. S. B. 2002. Permodelan Aliran Aitranah pada Akuifer Tertekan dengan Menggunakan Metode Beda Hingga (Finite Difference Method) di Kecamatan Kertajati Kabupaten Majalengka. *Buletin Keteknikan Pertanian*, Vol 16, No.2 : 61 – 68

Wikipedia. 8 Juli 2008. *Tanah*. (Online) (http://id.wikipedia.org/wiki/tanah, di akses 2 Maret 2011)ht

Vienastra. 6 Juli 2010. *Survey Hidrologi, Intrusi air laut*. (Online) (http://vienastra. wordpress.com, diakses 23 September 2011).

Zekai. 2002. Drawdown Distribution around Large Diameter Well in Double Porosity Medium. *Journal Of Hydrologic Engineering*, 1084 : 90 – 96

PENULIS

Prof. Dr. Ir. Akhmad Azis, M.T., lahir di Kupang, pada tanggal 03 Mei 1961. Menyelesaikan pendidikan terakhir pada Program S3 Ilmu Teknik Sipil Pasca Sarjana Unhas. Selain aktif mengajar di Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang yang mengampu mata kuliah Instalasi Air Bersih dan Limbah, juga aktif dalam pembuatan bahan ajar yang digunakan diinternal Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang serta buku yang dibiayai oleh ADB yang berjudul Penggunaan Alat Berat Pada Tambang Nikel pada tahun 2017. Sejak tahun 1988 sampai tahun 2011 terlibat pada berbagai proyek konstruksi sebagai Project Manager di PT. Bumi Karsa. Proyek yang pernah penulis terlibat adalah Proyek Pengendalian Banjir Sungai Jeneberang Paket IV, Proyek Waduk Pantai (Long Storage) Tanjung Bunga, Proyek Pembangunan Bandara Udara Baru Sultan Hasanuddin, serta masih banyak proyek pembangunan maupun peningkatan jalan di Propinsi Sulawesi Selatan.

Ir. Sugiarto Badaruddin, ST., M.T., Ph.D lahir di Awerange Barru Provinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 14 Agustus 1981. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Sipil dalam bidang geoteknik, di Universitas Hasanuddin Makassar, selesai tahun 2004. Selanjutnya gelar S-2 (MT) Teknik Sipil diperoleh pada tahun 2008 di Universitas Hasanuddin pada bidang teknik keairan. Sambil menyelesaikan S3 di Flinders University of

South Australia pada bidang hidrogeologi air tanah dengan menggunakan beasiswa Australia Award Scholarship dan Australia Leadership Award, Penulis juga ikut menjadi peneliti di National Centre for Groundwater Research and Training (NCGRT) di Australia dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2017. Pada tahun 2020, penulis mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Penulis saat ini beraktivitas sebagai dosen dan peneliti aktif di Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang yang dimulai dari tahun 2008. Aktivitas publikasi ilmiah baik nasional maupun internasional terindeks Scopus dimulai sejak tahun 2012.

Prof. Dr. Ir. Akhmad Azis, M.T. Lahir di Kupang, pada tanggal 03 Mei 1961. Menyelesaikan pendidikan terakhir pada Program S3 Ilmu Teknik Sipil Pasca Sarjana Unhas. Selain aktif mengajar di Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang yang mengampu mata kuliah Instalasi Air Bersih dan Limbah, juga aktif dalam pembuatan bahan ajar yang digunakan diinternal Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang serta buku yang dibiayai oleh ADB yang berjudul Penggunaan Alat Berat Pada Tambang Nikel pada tahun 2017. Sejak tahun 1988 sampai tahun 2011 terlibat pada berbagai proyek konstruksi sebagai Project Manager di PT. Bumi Karsa. Proyek yang pernah penulis terlibat adalah Proyek Pengendalian Banjir Sungai Jeneberang Paket IV, Proyek Waduk Pantai (Long Storage) Tanjung Bunga, Proyek Pembangunan Bandara Udara Baru Sultan Hasanuddin, serta masih banyak proyek pembangunan maupun peningkatan jalan di Propinsi Sulawesi Selatan.

Ir. Sugiarto Badaruddin, ST., M.T., Ph.D lahir di Awerange Barru Provinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 14 Agustus 1981. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Sipil dalam bidang geoteknik, di Universitas Hasanuddin Makassar, selesai tahun 2004. Selanjutnya gelar S-2 (MT) Teknik Sipil diperoleh pada tahun 2008 di Universitas Hasanuddin pada bidang teknik keairan. Sambil menyelesaikan S3 di Flinders University of South Australia pada bidang hidrogeologi air tanah dengan menggunakan beasiswa Australia Award Scholarship dan Australia Leadership Award, Penulis juga ikut menjadi peneliti di National Centre for Groundwater Research and Training (NCGRT) di Australia dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2017. Pada tahun 2020, penulis mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Penulis saat ini beraktivitas sebagai dosen dan peneliti aktif di Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang yang dimulai dari tahun 2008. Aktivitas publikasi ilmiah baik nasional maupun internasional terindeks Scopus dimulai sejak tahun 2012.

LSQ
Living Spiritual Quotient

ISBN 978-602-1308-51-6
9 786021 308516