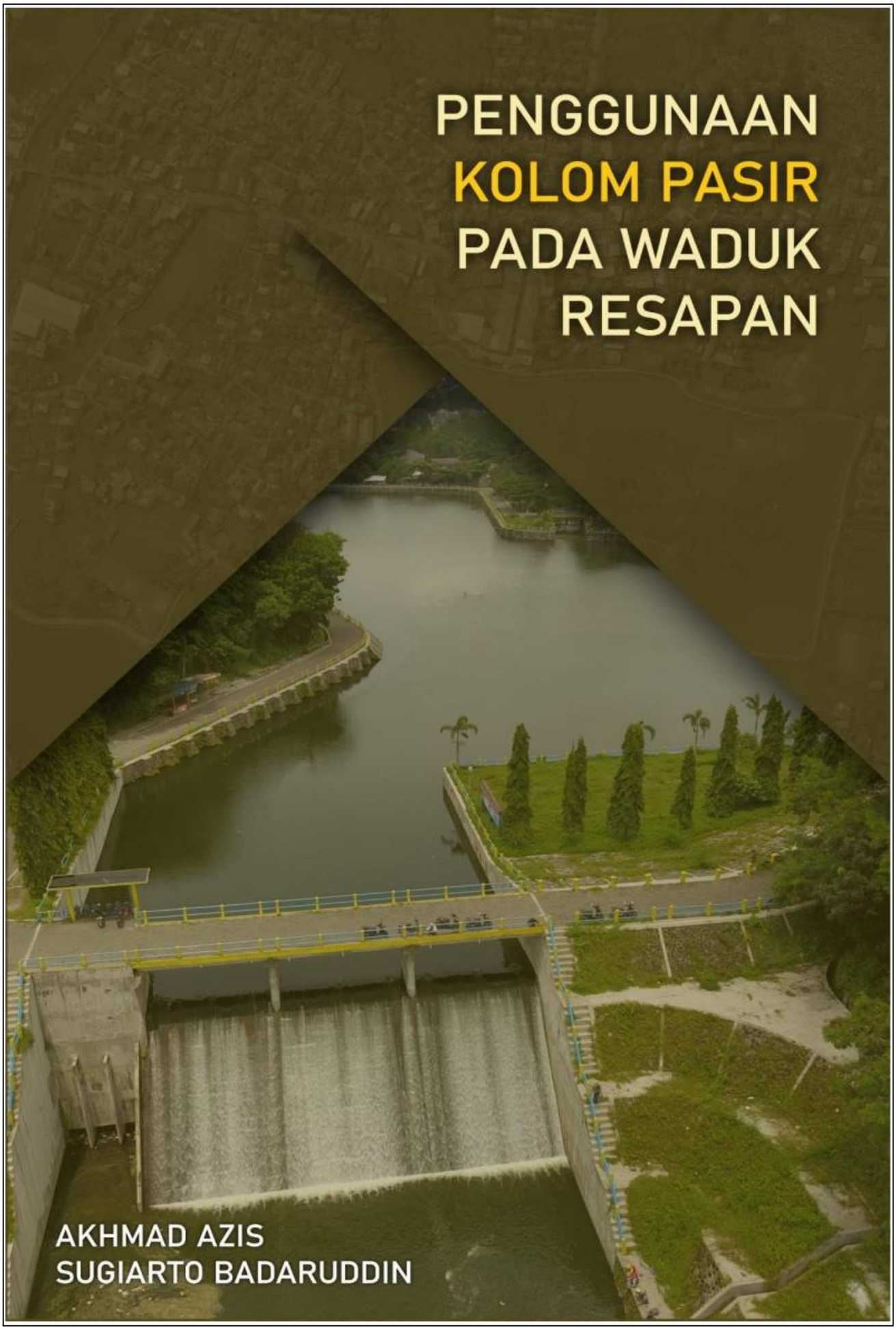
PENGGUNAAN KOLOM PASIR PADA WADUK RESAPAN

by Sugiarto Badaruddin

Submission date: 17-Apr-2023 12:03AM (UTC-0400)
Submission ID: 2066766829
File name: PENGGUNAAN_KOLOM_PASIR_PADA_WADUK_RESAPAN_full_sampul_ISBN.pdf (5.74M)
Word count: 17455
Character count: 107818

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)

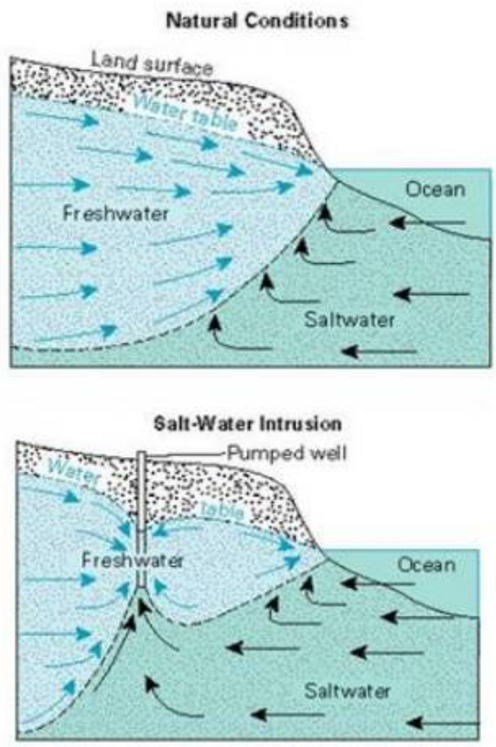
2. Intrusi air laut

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

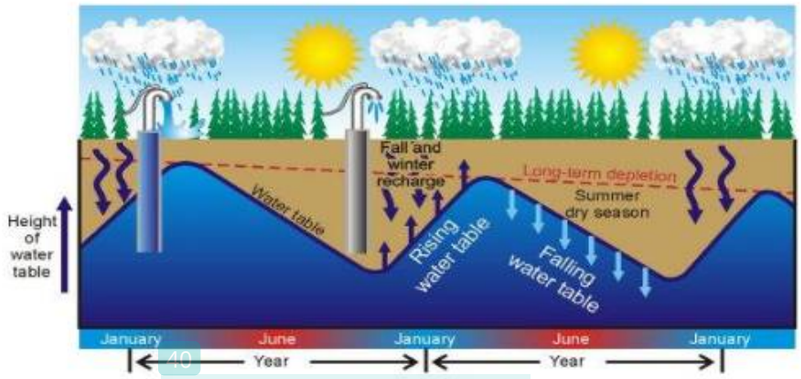
manusia. Penggunaan air payau untuk dikonsumsi dapat menyebabkan seseorang terkena penyakit perut seperti diare dan bila dikonsumsi dalam jangka panjang akan mengalami sensivitas tubuhnya untuk menerima air payau yang mengandung garam. Sedangkan bila digunakan untuk mandi, dapat memicu munculnya penyakit 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

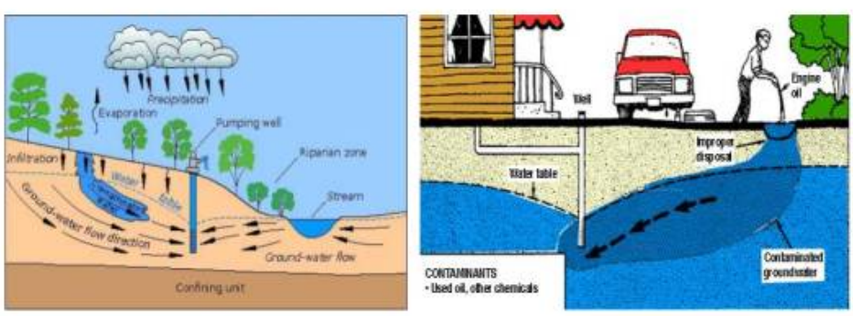
diperkirakan akan terjadi di kota-kota besar lainnya di Indonesia (Kusnaedi, 2011).



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.

Tingginya kemampuan waduk resapan untuk meresapkan aliran permukaan dibandingkan dengan embung atau situ yang selama ini lebih banyak befungsi sebagai tandon air, karena waduk resapan didesain mencapai lapisan akuifer atau lapisan tanah yang memiliki daya resap tinggi yaitu diatas 10^{-3} cm/detik, di mana angka tersebut sangat berbeda dibandingkan dengan daya serap lapisan lempung yang berkisar 10^{-5} cm/detik (Sudinda, 2004).

Namun terjadi permasalahan, jika waduk resapan yang akan dibangun pada suatu kawasan tertentu, memiliki tanah dengan nilai permeabilitas kecil dan daya resap rendah, menyebabkan air sangat lambat mencapai lapisan akuifer sehingga fungsinya sebagai waduk resapan tidak tercapai.

BAB II

ISU KRISIS AIR TANAH

Air merupakan senyawa yang paling penting dalam menjaga kelangsungan kehidupan manusia serta kelangsungan ekologi hayati dan non hayati. Dapat dikatakan bahwa air adalah sumber kehidupan. Bagi manusia sendiri, kekurangan air dapat menyebabkan kematian, dikarenakan tubuh manusia terdiri dari 80 persen air, dimana otak memiliki komponen air sebanyak 90 persen dan darah memiliki komponen air sebanyak 95 persen. Apabila kadar air di dalam tubuh berkurang hingga 7 persen, seseorang bisa jatuh pingsan hingga menyebabkan kematian (Pramono,1999).

Pada umumnya, manusia diasumsikan membutuhkan sekitar 15 liter air per harinya untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, seperti makan, minum, mandi, memasak, hingga mencuci. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa air merupakan kebutuhan utama makhluk hidup khususnya manusia (Pramono, 1999). Disamping itu, air sangat diperlukan oleh kegiatan komersial seperti industri, pertanian, perikanan dan usaha perkotaan lainnya. Untuk mendapatkannya manusia memperoleh dari berbagai sumber, baik yang ada dipermukaan maupun yang ada di dalam tanah. Meskipun jumlah air yang ada di bumi sebesar 1.360.000.000 km^3 atau menutupi 75% dari permukaan bumi, namun 97,3% berada di laut yang merupakan air yang mengandung kadar garam cukup tinggi sehingga tidak dapat dikonsumsi, sementara yang berupa salju dan gletser sebesar 2,14% dan yang mempunyai potensi untuk dipergunakan manusia secara langsung maupun yang harus diolah terlebih dahulu hanya sebesar 0,617%, terdiri dari air sungai, danau dan air tanah sebesar 0,61% (Sunjoto, 2012). Dengan demikian

terlihat dengan jelas persentase air tanah di muka bumi sangatlah kecil, sementara dengan meningkatnya populasi, semakin meningkat pula kebutuhan air bersih yang bersumber dari air tanah.

Peranan air tanah sebagai sumber daya alam untuk melengkapi air permukaan bagi pasokan air bersih terus meningkat dapat dipahami, sebab air tanah memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan air permukaan antara lain : dari segi higienis lebih sehat karena telah mengalami proses filtrasi secara alamiah, kualitas relatif tetap, biaya investasi relatif rendah, dan pemanfaatannya dapat dilakukan di tempat yang membutuhkannya (Lubis, 2007). Namun pengambilan air tanah yang berlebihan saat ini telah menimbulkan dampak negatif negatif berupa krisis air tanah.

Krisis air tanah khususnya di kota-kota besar di Indonesia sudah memasuki tahap berbahaya. Imbuhan air tanah nyaris tidak bertambah bahkan berkurang, sedangkan penggunaanya semakin meningkat. Pembangunan superblock dan gedung-gedung tinggi, ikut menggerus persediaaan air tanah. Kemudian daerah ruang terbuka hijau serta resapan air yang dulunya berfungsi sebagai tempat penampungan air pada saat musim hujan sehingga bisa diserap menjadi air tanah, juga sudah berkurang jumlahnya (Tempo Interaktif, 1 Maret 2009. *Krisis air tanah Jakarta berbahaya*, 5).

Badan Geologi memperkirakan kawasan Jakarta akan mengalami krisis air tanah pada 15 tahun mendatang jika tidak ada penanganan khusus. Saat ini pengambilan air tanah cukup tinggi hingga mencapai sekitar 27 juta m^3/tahun dan penyerapan air tanah

hanya sekitar 17 juta m^3/tahun (Puradimaja, 2009). Menurut Susilowati (2006), air permukaan di Jakarta kualitasnya sangat buruk, sehingga warga beralih ke air tanah. Namun dengan pengambilan yang tidak terkendali telah berdampak pada penurunan muka air tanah dari 50 m hingga 150 meter, menyebabkan *landskap* tanah akan menurun dan air laut akan naik ke permukaan sebagai banjir rob. Sementara di Yogyakarta, krisis air tanah yang terjadi disebabkan banyak faktor, salah satunya dari pemangku kebijakan atau pemerintah setempat. Penyebab menurunnya kualitas dan volume air tanah di Yogyakarta bisa dilihat dari tiga aspek, yakni tata ruang yang tidak bagus, sistem pengelolaan sanitasi yang buruk serta pengawasan hukum bagi pelanggar lingkungan yang lemah. Telah terjadi pengalihan fungsi lahan dari persawahan atau kebun menjadi perumahan, pertokoan dan bangunan lainnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Badan Lingkungan Hidup (BLH) Yogyakarta, sekitar 65% air tanah di Yogyakarta sudah tercemar bakteri e-coli yang bisa menyebabkan diare. Selain itu tercatat air tanah di Yogyakarta mengandung nitrat yang bisa menyebabkan komplikasi ginjal jika mengkonsumsinya dalam waktu yang lama (Seputar Indonesia, 20 Maret 2011, *Sanksi hukum masih lemah*, 6). Sedangkan di Bandung dan sekitarnya, jika tidak dilakukan pemulihan terhadap kondisi air tanah, maka di tahun 2013 akan terjadi penambahan zona kritis sebesar 116% dan zona rusak sebesar 570%, yang berakibat terjadinya suatu kondisi permukaan air tanah di akuifer tertekan berada di bawah batas atas dari akuifer tertekan tersebut (*groundwater mining*). Total luas *groundwater mining* di

daerah ini diperkirakan sebesar 244 km^2 atau 41% dari total luas akuifer terkekang (Hutasoit, 2009).

Berdasarkan hasil penelitian tersebut diketahui bahwa di Kota Makassar telah terjadi perubahan areal terbuka menjadi areal tertutup oleh bangunan fisik dari tahun 1999 ke tahun 2002 sebesar 829,1 Ha (4,77%), kemudian meningkat pada tahun 2005 menjadi sekitar 38,10%. Sementara wilayah resapan dengan litologi batupasir hampir tertutupi oleh bangunan fisik sebesar 60% padahal litologi tersebut dengan kisaran laju infiltrasi sebesar 9,1 - 12,4 cm/jam memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi. Berkurangnya infiltrasi air ke dalam tanah menyebabkan imbuhan terhadap akifer bebas semakin kecil, akibatnya limpasan permukaan semakin besar yang membentuk genangan pada lokasi tertentu dan pada akhirnya akan menimbulkan banjir. Saat ini terdapat 19 titik genangan air hujan yang tersebar di berbagai wilayah di Kota Makassar. Demikian pula pengambilan atau eksploitasi air tanah semakin besar menyebabkan terjadi kekurangan air tanah pada musim kemarau (Imran dkk, 2010). Sementara di Pulau Bali diprediksi akan mengalami krisis air pada tahun 2015. Menurut Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Bali Tjokorda Ngurah Pemayun, krisis air yang bakal terjadi dimasa mendatang disebabkan oleh tingginya jumlah penduduk tanpa disertai dukungan ketersediaan air yang mencukupi. Saat ini ketersediaan air bersih di Bali tinggal 4,7 juta meter kubik per tahunnya sedangkan kebutuhan air masyarakat Bali mencapai 5,3 juta meter kubik per tahun sehingga terjadi defisit (Wahyudi, 2009).

Dalam acara Forum Air Dunia II (*World Water Forum*) di Den Haag pada bulan Maret tahun 2000, disebutkan bahwa Indonesia termasuk salah satu negara yang akan mengalami krisis air tanah pada tahun 2050. Penyebabnya antara lain kelemahan dalam pengelolaan, seperti pemakaian air yang tidak efisien. Laju kebutuhan akan sumber daya air tanah dan potensi ketersediaannya sangat pincang dan semakin menekan kemampuan alam dalam menyediakan air tanah. Sumber daya air tanah secara kuantitatif akan semakin terbatas dan secara kualitatif akan semakin menurun (Silaban, 2009). Sumber daya air tanah merupakan sumber daya yang terbarukan, namun demikian kadang ketersediaannya tidak selalu sesuai dengan waktu, ruang, jumlah dan mutu yang dibutuhkan. Pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi telah meningkatkan kebutuhan air baik jumlahnya maupun kualitasnya.

Mengingat **keberadaannya** terbatas serta kebutuhan yang semakin tinggi, maka perlu dilakukan perlindungan dan pelestarian sumber daya air ini melalui :

1. Pemeliharaan kelangsungan fungsi resapan air di daerah tangkapan air.
2. Pengendalian pemanfaatan sumber air.
3. Pengaturan prasarana dan sarana sanitasi.
4. Perlindungan sumber air.
5. Pembangunan dan pemanfaatan lahan pada sumber air.
6. Pengendalian pengolahan tanah pada daerah hulu.
7. Pengaturan daerah sempadan sumber air.
8. Rehabilitasi hutan atau lahan.

9. Pelestarian hutan lindung, kawasan suaka dan kawasan pelestarian alam.
10. Pengisian air tanah.
11. Melakukan pungutan melalui pajak air tanah.

BAB III

19

AIR TANAH

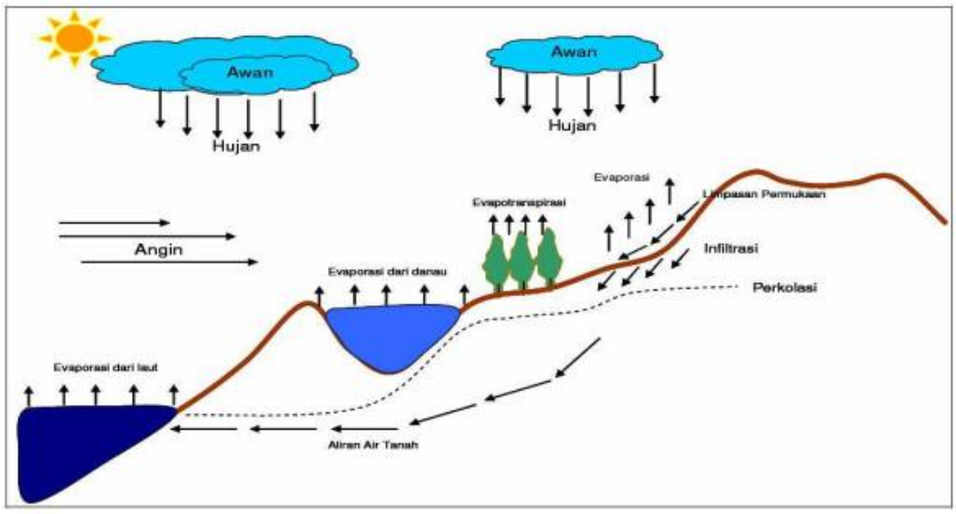
Air tanah adalah air yang bergerak di dalam tanah yang terdapat di dalam ruang-ruang antara butir-butir tanah dan di dalam retak-retak batuan yang disebut juga sebagai air celah atau *fissure water*. Air yang mengisi pori lapisan bumi yang berada di bawah *water table* biasanya disebut air tanah (Husni dalam Sosrodarsono dan Takeda, 2010). Sedangkan menurut Bouwer (2002), air tanah adalah sejumlah air di bawah permukaan bumi yang dapat terkumpul pada sumur-sumur, lorong-lorong dan saluran-saluran drainase atau aliran alami di permukaan bumi melalui perembesan. Sumber utama dari air tanah adalah air hujan yang masuk ke dalam tanah atau melalui badan air seperti sungai, waduk dan mengalami proses perkolasi menuju akuifer. Air yang mengalami proses infiltrasi masuk ke dalam tanah akan meningkatkan kelembaban tanah dan setelah melampaui kapasitas jenuh, maka air akan bergerak vertikal untuk masuk ke dalam lapisan air tanah oleh pengaruh gravitasi. Sementara menurut Sudjarwadi dkk (2008), air tanah merupakan salah satu komponen sumber daya air yang bergerak dalam lapisan tanah, terdapat di dalam ruang-ruang antara butir-butir tanah dan telah menjadi sumber air baku terpenting yang diambil dari bawah permukaan tanah pada zona jenuh air. Dalam Undang-Undang No.7 Tahun 2004 tentang Sumber daya air disebutkan bawa air tanah merupakan air yang terdapat dalam lapisan batuan.

Sekitar 30% konsumsi harian di dunia ini diperoleh dari air tanah sehingga memiliki kontribusi dalam kehidupan dan usaha manusia sehari-hari, sisanya diperoleh dari air permukaan di sungai atau danau (Soedarmo dan Purnomo, 2001). Sumber air tanah dapat

berasal dari air permukaan berupa air hujan, sungai serta danau yang meresap (*infiltrate*) mula-mula ke zona tak jenuh (*zone of aeration*) dan kemudian meresap makin dalam hingga mencapai zona jenuh air dan menjadi air tanah. Kondisi geologi menentukan sekali corak perjalanan air hujan mengisi zona jenuh air. Apabila muka air tanah tidak jauh dari permukaan, perkolasi cukup besar dari air hujan dapat terjadi relatif lebih mudah. Jika di atas muka air tanah terdapat suatu lapisan kedap, maka perkolasi tidak mudah terjadi. Aliran air melalui sistem alur yang melintasi endapan aluvial permeabel memungkinkan sekali terjadinya perkolasi ke zona saturasi apabila aliran mempunyai posisi elevasi di atas muka air tanah. Sumber air tanah yang lain dapat berasal dari dalam bumi yang terangkat ke atas dari batuan sedimen yakni air yang terjebak di batuan sedimen pada zaman terbentuknya batuan tersebut misalnya air fosil dan air vulkanik. Jumlah air jenis ini kecil dan seringkali kandungan bahan mineralnya tidak memenuhi syarat untuk digunakan sebagai air bersih (Sudjarwadi dkk, 2008).

Air tanah merupakan salah satu fase dalam daur hidrologi, yakni dapat dimulai dari suatu peristiwa dimana akibat panas matahari air berubah wujud berupa uap baik dalam bentuk evaporasi yakni penguapan baik berasal dari sungai, waduk maupun laut dan permukaan tanah maupun evapotranspirasi yakni penguapan dari permukaan tanaman. Uap air hasil penguapan ini pada ketinggian tertentu akan menjadi awan, kemudian beberapa sebab awan akan berkondensasi menjadi presipitasi, bisa dalam bentuk salju, hujan es, hujan, dan embun. Air hujan yang jatuh kadang-kadang tertahan oleh

daun dari pepohonan atau oleh bangunan. Air hujan yang mencapai tanah, sebagian menjadi aliran air permukaan yang akan memasuki daerah tangkapan menuju ke sistem jaringan sungai, danau ataupun waduk selanjutnya ke daerah pantai dan akhirnya akan bermuara ke laut. Sebagian meresap ke dalam tanah berupa infiltrasi dan perkolasi dan pada akhirnya akan menjadi air tanah baik dangkal maupun dalam seperti terlihat pada Gambar 5 (Kodoatie dan Sjarief, 2008).



Gambar 5. Siklus Hidrologi Pembentukan Air tanah (Soenarto, 2007)

Kenaikan kapiler dapat mencapai elevasi yang sangat dekat dengan permukaan tanah, yang akan memudahkan proses penguapan air yang berada di tanah bagian atas. Selanjutnya dengan adanya kemiringan garis energi atau kemiringan muka air tanah, maka air tanah akan merembes keluar melalui jaringan pori-pori tanah menuju jaringan sungai, waduk, danau serta ke laut (Teague, 2010). Dari daur hidrologi tersebut dapat dipahami bahwa air tanah berinteraksi

dengan air permukaan serta komponen-komponen lain yang terlibat dalam daur hidrologi termasuk bentuk topografi, jenis batuan penutup, penggunaan lahan, tumbuhan penutup, serta manusia yang berada di permukaan (Rizal, 2009).

Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap gerakan air di bawah permukaan tanah antara lain adalah:

1. Perbedaan kondisi energi di dalam air tanah itu sendiri.
2. Kelulusan lapisan pembawa air.
3. Kekentalan (viscosity) air tanah.

1. Aliran Air Tanah

Air tanah memerlukan energi untuk dapat bergerak mengalir melalui ruang antar butiran yang bersumber dari energi potensial, ini dicerminkan dari tinggi muka airnya (*piezometric*) pada tempat yang bersangkutan. Air tanah mengalir dari titik berenergi potensial tinggi ke arah titik berenergi potensial lebih rendah, antara titik-titik yang berenergi potensial sama tidak terdapat pengaliran air tanah. Garis khayal yang menghubungkan titik-titik yang sama energi potensialnya disebut garis kontur muka air tanah atau garis *isohypse*. Sepanjang garis kontur tersebut tidak terdapat aliran air tanah, karena arah aliran air tanah tegak lurus dengan garis kontur (Singh dan Woolhiser, 2002).

Menurut Waspodo (2002), secara hidrologis air di bawah permukaan tanah dapat dibedakan menjadi:

1) Air pada daerah yang tak jenuh (*zone of aeration*).

Daerah tak jenuh yang umumnya terdapat pada bagian teratas dari lapisan tanah dicirikan oleh gabungan antara

material padatan, air dalam bentuk air kapiler dan air infiltrasi serta gas dan udara.

2) Air pada daerah jenuh (*zone of saturation*)

Daerah ini dipisahkan dari daerah jenuh oleh jaringan kapiler. Air yang berada pada daerah jenuh disebut air tanah (*groundwater*).

a. Jenis aliran air tanah

Aliran air tanah dapat dibedakan menjadi :

1) Aliran laminer

Aliran yang partikel-partikel airnya bergerak sejajar dengan kecepatan relatif lambat. Pada umumnya air tanah yang bergerak dalam media berpori bergerak secara laminar.

2) Aliran turbulen.

Aliran yang partikel-partikelnya bergerak secara berputar, biasanya mempunyai kecepatan yang besar. Aliran turbulen terjadi pada air tanah yang mengalir lewat rongga-rongga (celah) batuan yang besar.

Aliran air tanah lebih sering ditemukan dalam bentuk aliran laminer. Aliran air tanah secara laminer ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1) Aliran tetap atau aliran tunak (*steady flow*) yaitu aliran yang tidak berubah karena waktu. Aliran tunak terjadi apabila ada keseimbangan antara air yang keluar dan masuk dari atau ke akuifer. Keadaan ini dapat ditunjukkan jika tinggi pisometrik relatif tidak berubah

terhadap pertambahan waktu dan hanya dapat diamati pada uji pemompaan sampai tahap stabil tercapai.

2) Aliran tidak tetap atau aliran tidak tunak (*unsteady flow*). Aliran yang akan berubah karena waktu. Aliran tidak tunak terjadi apabila keseimbangan antara air yang masuk dan keluar tidak pernah tercapai. Keadaan ini dapat diketahui dari tinggi pisometrik yang mengalami perubahan terhadap waktu (Hardian, 2006).

Parameter dasar yang berhubungan dengan pergerakan aliran air melalui media berpori diantaranya koefisien permeabilitas atau konduktivitas hidraulik (Munir dkk, 2009).

b. Beda tinggi energi hidraulik

Menurut Bernoulli, tinggi energi total pada suatu titik A dapat dinyatakan oleh persamaan :

$$h = \frac{\rho}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad \text{.....(1)}$$

dimana : h = tinggi energi total (m)

$\frac{\rho}{\gamma_w}$ = tinggi energi tekanan (m)

ρ = tekanan air (kN/m^2)

v = kecepatan air (m/det)

γ_w = berat volume air (kN/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/det^2)

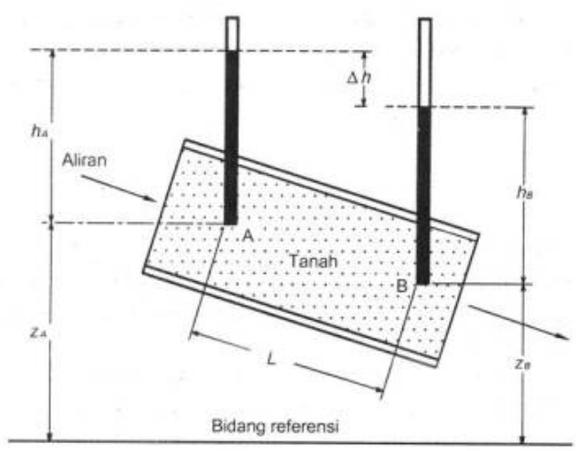
Z = tinggi energi elevasi (m)

Karena kecepatan rembesan di dalam tanah sangat kecil, maka tinggi energi kecepatan dalam suku persamaan Bernoulli dapat diabaikan, sehingga persamaan tinggi energi total menjadi,

$$h = \frac{\rho}{\gamma_w} + z \quad \text{.....(2)}$$

sehingga energi total (h) sama dengan tingggi energi elevasi ditambah tinggi energi tekanan pada titik tertentu yang ditinjau, yaitu sama dengan jarak vertikal yang diukur dari bidang referensi ke permukaan air dalam pipa.

Untuk menghitung debit rembesan lewat tanah pada kondisi tertentu, ditinjau kondisi tanah dalam gambar luas potongan melintang tanah A, dengan debit rembesan sebesar q terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Aliran rembesan dalam tanah (Hardiyatmo, 2010)

Dari persamaan Bernoulli, tinggi energi hilang antara dua titik A dan B (Δh) dinyatakan oleh persamaan :

$$\Delta h = \left(\frac{\rho_A}{\gamma_w} + z_A\right) - \left(\frac{\rho_B}{\gamma_w} + z_B\right) \quad \text{.....(3)}$$

$$\Delta h = (h_A + Z_A) - (h_B + Z_B) \quad \text{.....(4)}$$

Dengan h_A dan h_B berturut-turut adalah tinggi energi tekanan pada titik A dan B. Gradien hidraulik (i), didefinisikan sebagai :

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad \text{.....(5)}$$

dengan L adalah jarak potongan A dan B. Nilai tinggi energi elevasi (z) diambil positif bila titik yang ditinjau terletak di atas bidang referensi (datum) dan negatif bila di bawahnya. Jarak vertikal antara elevasi piezometer di A dan B disebut beda tinggi energi hidraulik (Δh).

2. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori yang saling berhubungan antara satu dengan lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi energi tinggi ke titik dengan energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah (Hardiyatmo, 2010). Bahan yang mempunyai pori-pori kontinu disebut dapat tembus (permeabel). Kerikil mempunyai sifat dapat tembus yang tinggi sedangkan lempung mempunyai sifat dapat tembus yang rendah dan karena itu lempung disebut impermeabel (Soedarmo dan Purnomo, 2001). Permeabilitas tanah merupakan salah satu karakteristik yang penting untuk memperkirakan volume air rembesan pada pekerjaan galian sedalam muka air tanah atau lebih dalam. Air yang merembes dalam tanah, biasa mengalir mengikuti aliran laminar.

a. Koefisien permeabilitas tanah.

Koefisien permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah untuk dilalui air dalam satu satuan waktu. Koefisien permeabilitas tanah (k), digunakan untuk mengetahui besarnya rembesan pada permasalahan bendungan, saluran irigasi, tanggul utama, sumur resapan dan lainnya. Dengan mengkomparasi nilai koefisien permeabilitas antara data lapangan dengan nilai kisaran yang diberikan literatur seperti terlihat pada Tabel 1, maka diharapkan hasilnya dapat digunakan untuk memprediksi nilai awal koefisien permeabilitas (Djarwanti, 2008).

Tabel 1. Koefisien Pemeabilitas Tanah (Hardiyatmo, 2010)

No	Jenis Tanah	Koef. Permeabilitas (k) Cm/det	Keterangan
1	Butiran Kasar	$10^{2} – 10^{-1}$	Permeabilitas tinggi
2	Kerikil halus / pasir kasar	$10^{-1} – 10^{-3}$	Permeabilitas sedang
3	Pasir halus, Pasir lanau	$10^{-3} – 10^{-5}$	Permeabilitas rendah
4	Lanau padat, lanau berlempung, lanau tidak murni	$10^{-5} – 10^{-7}$	Permeabilitas sangat rendah
5	Lempung	$<10^{-7}$	Impervious (rapat air)

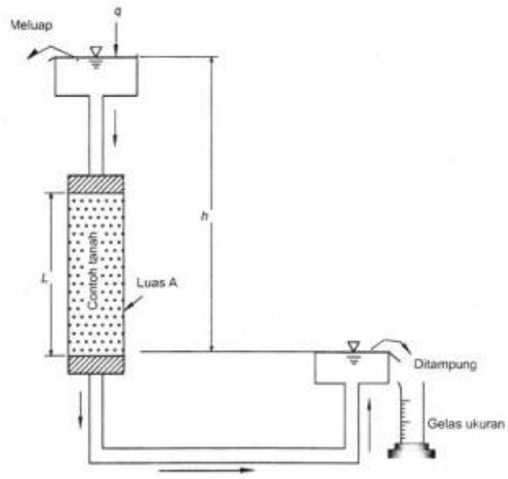
Koefisien permeabilitas terutama tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan struktur tanah. Secara garis besar dapat

dikemukakan bahwa, semakin kecil ukuran partikel seragam seragam, semakin kecil pula ukuran pori dan makin rendah koefisien permeabilitasnya (Patanduk, 2012).

Menentukan besarnya koefisien permeabilitas tanah secara tepat, harus melalui pengujian laboratorium. Ada dua cara untuk menentukan koefisien permeabilitas di laboratorium yaitu dengan uji tegangan tetap dan uji tegangan jatuh. Uji tegangan tetap digunakan untuk tanah yang memiliki butiran kasar dan koefisien permeabilitas tinggi (> 10^{-3} cm^3/det), sedangkan uji tegangan menurun digunakan untuk tanah yang memiliki butiran halus dan koefisien permeabilitas rendah (< 10^{-5} cm^3/det). Pengujian kedua cara tersebut seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8 di bawah ini.

1) Uji tegangan tetap

Gambar 7 di bawah ini merupakan uji permeabilitas dengan tinggi energi tetap. Sampel tanah sebagai benda uji diletakkan di dalam selinder, tinggi energi hilang adalah h. Banyaknya air yang keluar ditampung di dalam gelas ukur dan catat waktunya.



Gambar 7. Uji tegangan tetap (Hardiyatmo, 2010)

Dari Gambar 7 diperoleh data, selanjutnya data tersebut masukkan ke dalam persamaan 7, maka koefisien permeabilitas (k) dapat diketahui :

Gradien hidraulik : $i = \frac{h}{L}$

Kecepatan aliran : $v = k \, . \, i$

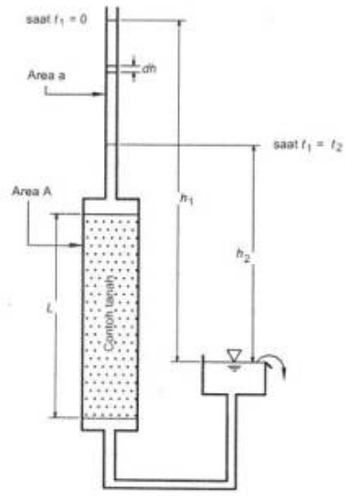
Debit rembesan : $q = k \, . \, i . A$

Debit rembesan dalam waktu t : $Q = k . i . A . t$

$$Q = k . \frac{h}{L} . A . t \text{.....(6)}$$

maka : $k = \frac{Q.L}{h.A.t}$ .....(7)

2). Uji tinggi energi menurun



Gambar 8. Uji tegangan menurun (Hardiyatmo, 2010)

Gambar 8 di atas merupakan uji permeabilitas dengan tinggi energi turun.

Berdasarkan hasil pengujian, maka nilai-nilai a, L, A, t, h_1 dan h_2 dapat diperoleh dan selanjutnya dimasukkan pada persamaan 13, maka nilai koefisien permeabilitas tanah dapat diketahui.

$$q = k \,.\, i \,.\, A \quad \text{.....(8)}$$

$$q = k \,.\, \frac{h}{l} \,.\, A \quad \text{.....(9)}$$

$$q = -a \,.\, \frac{dh}{dt} \quad \text{.....(10)}$$

Jika selama t detik, maka air dalam pipa diamati turun dari h_1 ke h_2

$$\int_0^t dt = \int_{h_1}^{h_2} \frac{aL}{Ak} \left(-\frac{dh}{h}\right) \quad \text{.....(11)}$$

$$t = \frac{a.L}{A.k} \ln \frac{h1}{h2} \quad \text{.....(12)}$$

$$k = 2{,}303\ \frac{a.L}{A.t} \log \frac{h1}{h2} \quad \text{.....(13)}$$

dimana : k = koefisien permeabilitas tanah

h_1 = tinggi muka air awal pengukuran (m)

h_2 = tinggi muka air akhir pengukuran (m)

A = luas potongan melintang benda uji (m^2)

a = luas pipa pengukur (m^2)

L = panjang benda uji atau panjang pengaliran (m)

b. Hukum Darcy

Hukum Darcy menjelaskan tentang kemampuan air mengalir pada rongga (pori-pori) dalam tanah dan sifat yang mempengaruhinya.

Ada dua asumsi yang digunakan dalam penetapan hukum Darcy ini yakni : asumsi pertama menyatakan bahwa aliran fluida/cairan dalam tanah bersifat laminer, sedangkan asumsi kedua menyatakan bahwa tanah berada dalam keadaan jenuh. Hubungan antara kecepatan aliran dan gradien hidraulik sebagai berikut (Darcy , 1986 dalam Hardiyatmo, 2010).

$$V = k.i \quad \text{.....(14)}$$

$$Q = V.\ A \quad \text{.....(15)}$$

$$Q = k.i.A \quad \text{.....(16)}$$

Dimana : Q = debit /volume aliran air per satuan waktu (cm3/det)

A = luas penampang tanah yang dilewati air (cm2)

k = koefisien permeabilitas (cm/dt)

i = gradien hidraulik

v = kecepatan aliran (cm/dt)

3. Akuifer

Menurut Putranto dan Kusuma (2009), permukaan bumi dalam kajian hidrogeologi terdiri dari empat macam lapisan yaitu akuiklud (*aquiclude*), akuitar (*aquitard*), akuifug (*aquifuge*), dan akuifer (*aquifer*).

Akuiklud adalah suatu lapisan, formasi atau kelompok formasi satuan geologi yang tidak tembus air (lapisan kedap air) dengan nilai koefisien permeabilitas yang sangat kecil sehingga tidak memungkinkan air melewatinya. Dapat dikatakan juga merupakan lapisan batas atas dan bawah akuifer terkekang.

Akuitar adalah suatu lapisan formasi atau kelompok formasi satuan geologi dengan nilai koefisien permeabilitas yang kecil namun masih memungkinkan air melewati lapisan ini, walaupun dengan gerakan yang lambat. Dapat dikatakan juga merupakan lapisan pembatas atas dan bawah suatu akuifer semi terkekang yang dibentuk oleh lempung atau serpih.

Akuifug merupakan lapisan permukaan bumi yang tidak mampu menyimpan dan meloloskan air misalnya batuan granit.

Sedangkan akuifer merupakan suatu media pengaliran yang dibentuk oleh tanah atau batuan yang dapat dilewati air atau bersifat porous yang mengandung air bebas dalam jumlah yang cukup terletak di antara lapisan tanah lainnya. Jumlah air tanah yang dapat diperoleh di sembarang daerah tergantung pada sifat-sifat akuifer yang ada di bawahnya serta pada luas cakupan dan frekuensi imbuhan. Kapasitas suatu formasi untuk menampung air di ukur dengan porositas, yaitu perbandingan antara volume pori-pori

terhadap volume total formasi tersebut. Pori-pori mempunyai perbedaan ukuran yang beraneka ragam, dari yang berupa celah-celah submikroskofis pada lempung dan serpih hingga berupa gua-gua atau terowongan-terowongan pada batu kapur dan lava (Linsley dan Franzini, 1996). Umumnya akuifer memiliki koefisien permeabilitas yang besar seperti pada pasir atau kerikil yang tidak teratur, sedimen batuan misalnya batu pasir, batu kapur, ataupun batuan vulkanis (Satyawan dkk, 2009).

Menurut (Kodoatie dan Sjarief, 2008), akuifer dapat diklasifikasikan dalam lima jenis sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 9 dan diuraikan sebagai berikut :

1) Akuifer terkekang

   Merupakan akuifer yang jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas dan dan bawahnya merupakan lapisan kedap air dan tekanan airnya lebih besar dari tekanan atmosfir, pada lapisan pembatasnya tidak ada air yang mengalir. Umumnya merupakan air tanah dalam (> 40m). Air tanah dalam adalah air yang terdapat pada suatu lapisan tertentu yang berada didalam tanah baik sebagai ruang antar butiran batuan ataupun pada rekahan batuan. Air tanah dalam ini, dapat bergerak secara lateral maupun vertikal yang dipengaruhi oleh keadaan morfologi, hidrologi, dan keadaan geologi setempat. Pengaruh faktor geologi antara lain adalah bentuk dan penyebaran besar butir, perbedaan dan penyebaran lapisan batuan dan struktur geologi. Air tanah dalam, kualitas dan kuantitasnya lebih baik dari pada

air tanah dangkal, oleh sebab itu sangat diminati oleh kalangan industri dan pertambangan.

2) Akuifer semi terkekang

Merupakan akuifer yang jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas berupa semi kedap air (*impervious layer*) dan lapisan bawahnya merupakan lapisan kedap air. Pada lapisan pembatas di bagian atasnya karena bersifat akuitar, masih ada air yang mengalir ke akuifer tersebut walaupun koefisien permeabilitasnya jauh lebih kecil dibandingkan koefisien permeabilitas akuifer. Tekanan air pada akuifer lebih besar dari tekanan atmosfir.

3) Akuifer semi tidak terkekang

Merupakan akuifer yang jenuh air yang dibatasi hanya lapisan

bawahnya berupa lapisan kedap air. Pada bagian atasnya ada lapisan pembatas yang mempunyai koefisien permeabilitas yang lebih kecil dari pada koefisien permeabilitas dari akuifer sehingga air agak sulit masuk ke dalam lapisan akuifer. Akuifer ini juga mempunyai muka air tanah yang terletak pada lapisan pembatas tersebut.

4) Akuifer tidak terkekang

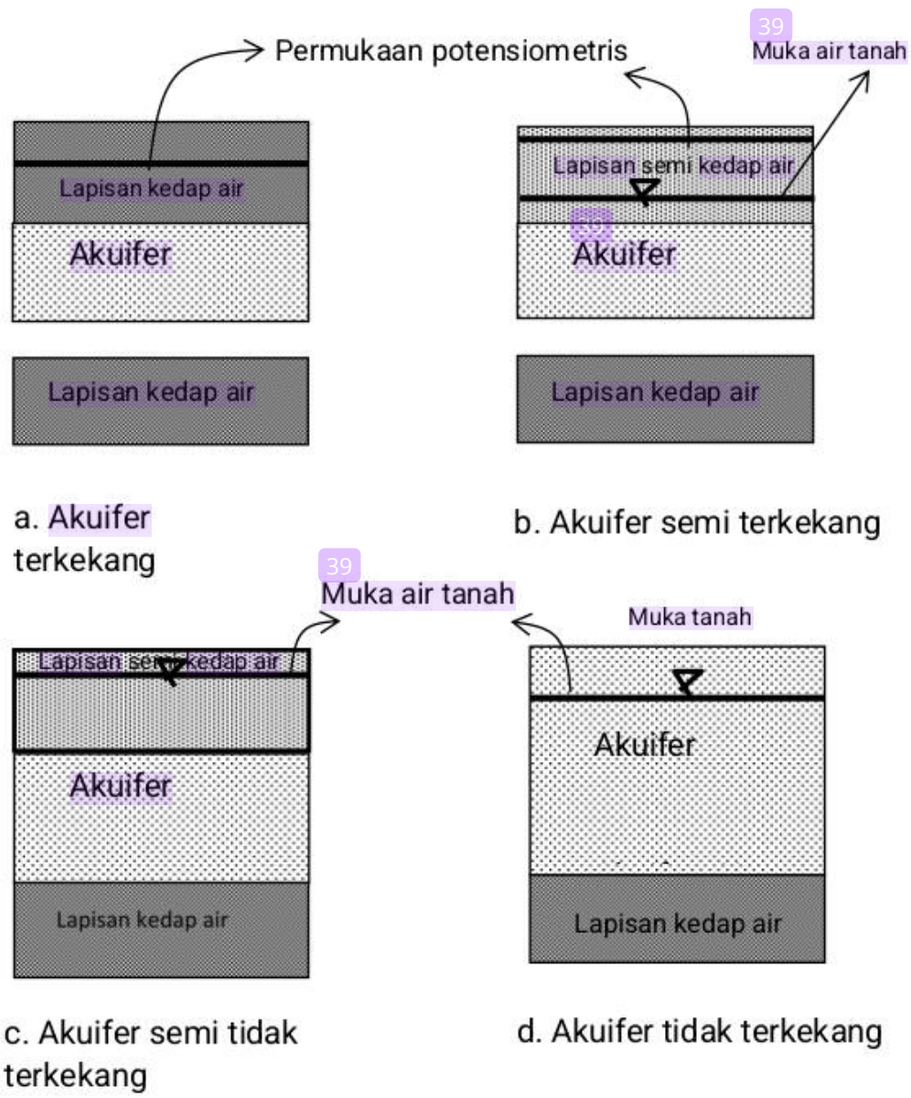
Merupakan akuifer jenuh air, yang dibatasi oleh lapisan akuitar hanya pada bagian bawahnya, sedangkan pada lapisan di atasnya tidak ada pembatas hanya berupa muka air tanah. Dengan kata lain merupakan akuifer yang mempunyai muka air tanah dan merupakan air tanah

dangkal (< 20 m), sering dijumpai pada daerah endapan aluvial. Air tanah dangkal dipergunakan sebagai sumber air bersih oleh penduduk di sekitarnya, namun karena memiliki karakter berfluktuasi terhadap iklim sekitar sehingga mudah tercemar. Kemudahannya untuk didapatkan, sehingga sering disebut sebagai air tanah dangkal.

5) Akuifer artesis

Merupakan akuifer terkekang yang berada dalam keadaan hidrostatis. Oleh karena itu apabila pada akuifer ini dilakukan pengeboran, maka akan timbul pancaran air, karena air yang keluar dari pengeboran ini berusaha mencapai ketinggian hidrolik tersebut. Pola pergerakannya yang menghasilkan gradient potensial mengakibatkan adanya istilah artesis positif, kejadian dimana potensial air tanah ini berada diatas permukaan tanah sehingga air tanah akan mengalir vertikal secara alami menuju kesetimbangan garis potensial khayal ini. Artesis nol, kejadian dimana garis potensial khayal ini sama dengan permukaan tanah sehingga muka air tanah akan sama dengan muka tanah. Terakhir artesis negatif, kejadian dimana garis potensial khayal ini dibawah permukaan tanah sehingga muka air tanah akan berada di bawah permukaan tanah. Tiga puluh sampai seratus tahun yang lalu, banyak terdapat sumur artesis di mana air melimpahi sumur hingga ke permukaan tanah. Oleh karena pemakaian yang berlebihan terhadap sumber air, maka pada saat ini sebagian besar akuifer tidak

lagi berada dalam keadaan tertekan atau tekanannya sudah sedemikian rendahnya sehingga harus dipergunakan pompa untuk mendapatkan air tersebut. Pengisian kembali akuifer-akuifer itu diperkirakan akan memakan waktu sekitar 150 hingga 1000 tahun.

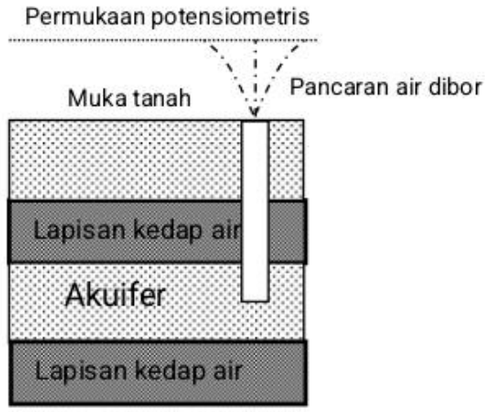


a. Akuifer terkekang

b. Akuifer semi terkekang

c. Akuifer semi tidak terkekang

d. Akuifer tidak terkekang



e. Akuifer artesis

Gambar 9. Jenis-jenis akuifer (Kodoatie dan Sjarief, 2008)

Berdasarkan pengamatan lapangan, akifer dijumpai pada bentuk lahan sebagai berikut :

1) Lintasan air *(water course),* materialnya terdiri dari aluvium yang mengendap di sepanjang alur sungai sebagai bentuk lahan dataran banjir serta tanggul alam. Bahan aluvium itu biasanya berupa pasir dan kerikil.
2) Lembah yang terkubur *(burried valley*) atau lembah yang ditinggalkan *(abandoned valley),* tersusun oleh materi lepas-lepas yang berupa pasir halus sampai kasar.
3) Dataran *(plain),* ialah bentuk lahan berstruktur datar dan tersusun atas bahan aluvium yang berasal dari berbagai bahan induk sehingga merupakan akifer yang baik.
4) Lembah antar pegunungan *(intermontane valley),* yaitu lembah yang berada diantara dua pegunungan, materialnya berasal dari hasil erosi dan gerak massa batuan dari pegunungan di sekitarnya.

5) Batu gamping (*limestone*), air tanah terperangkap dalam retakan-retakan. Porositas batu gamping ini bersifat sekunder.
6) Batuan vulkanik, terutama yang bersifat basal. Sewaktu aliran basal ini mengalir, ia mengeluarkan gas-gas. Bekas gas keluar itulah yang merupakan pori-pori terisi air (Suharyadi, 2006).

BAB IV

KARAKTERISTIK DAN KLASIFIKASI TANAH

Tanah didefinisikan sebagai himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas, terletak di atas batuan dasar. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2010). Sementara menurut Das (1995), tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Menurut Wikipedia Indonesia (http://id.wikipedia.org/wiki/tanah), tanah adalah bagian kerak bumi yang tersusun dari mineral dan bahan organik. Peranannya sangat vital bagi semua kehidupan di bumi karena tanah mendukung kehidupan tumbuhan dengan menyediakan hara dan air sekaligus sebagai penopang akar. Struktur tanah yang berongga-rongga juga menjadi tempat yang baik bagi akar untuk bernapas dan tumbuh. Tanah juga menjadi habitat hidup berbagai mikroorganisme. Bagi sebagian besar hewan darat, tanah menjadi lahan untuk hidup dan bergerak. Tanah berasal dari pelapukan batuan dengan bantuan organisme, membentuk tubuh unik yang menutupi batuan. Proses pembentukan tanah dikenal sebagai "*pedogenesis*", terbentuk dari bahan induk yang telah mengalami modifikasi/pelapukan akibat dinamika faktor iklim, organisme, dan relief permukaan bumi (topografi) seiring dengan berjalannya waktu. Berdasarkan dinamika kelima faktor tersebut terbentuklah berbagai jenis tanah dan dapat dilakukan klasifikasi tanah.

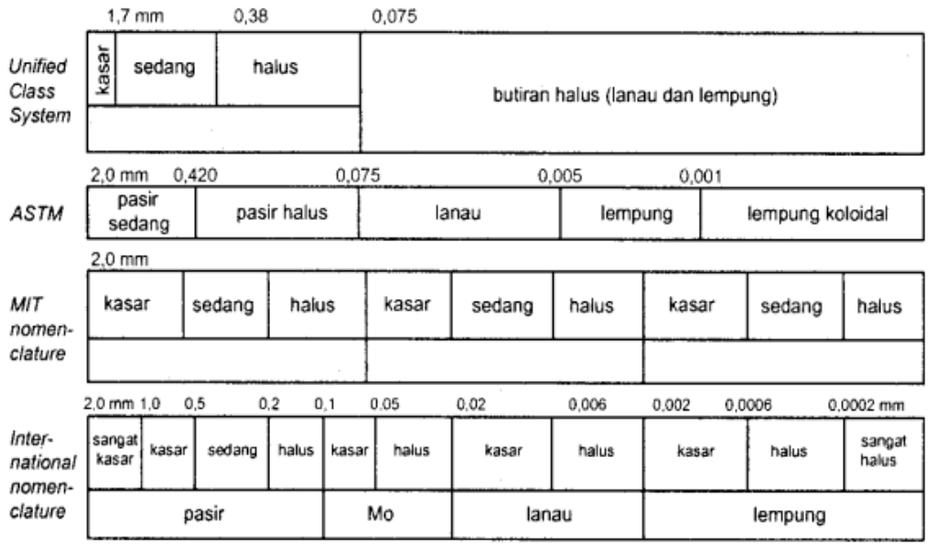
Semua mineral tanah berasal dari batuan sebagai akibat dari pelapukan. Batuan dapat diklasifikasikan berdasarkan proses pembentukannya. Batuan beku terbentuk pada atau dikedalaman tertentu dari permukaan tanah sebagai hasil dari pembekuan magma panas. Batuan endapan terbentuk sebagai akibat dari endapan berlapis-lapis partikel tanah di dalam air, endapan tersebut kemudian membatu pada jangka waktu yang panjang. Proses pelapukan batuan menjadi tanah dapat dibagi dalam dua bagian, yaitu proses penghancuran fisik dan proses pelapukan kimiawi. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini di sebut tanah residual dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut. Proses pembentukan tanah ini akan mempengaruhi karakteristik masing-masing tanah yang terbentuk.

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Hal yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh lempung adalah jenis tanah yang berisfat kohesif dan plastis, sedang pasir

digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis (Hardiyatmo, 2010)

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran, atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri atas partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butiran-butiran ukuran lanau maupun pasir, dan mungkin terdapat campuran bahan organik. Dari sudut pandang teknik, klasifikasi ini umumnya dilakukan dengan tujuan untuk menemukan kesesuaian tanah untuk konstruksi (seperti bendungan, jalan raya, dan atau pondasi, dll). Untuk tujuan rekayasa, tanah dapat diklasifikasikan atas dasar ukuran partikel dan tekstur. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm (Hardiyatmo, 2010).

Terdapat beberapa standar penggolongan tanah berdasarkan ukuran butir partikel tanah dengan perbedaan yang tidak signifikan. Kecuali standar ASTM yang umum dipakai di Indonesia, terdapat beberapa standar lain sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 10. Dalam sistem ini, gradasi tanah sedimen disusun sesuai dengan ukuran butir seperti kerikil, pasir, lanau, dan lempung yang digunakan untuk menunjukkan ukuran butir.



Gambar 10. Penggolongan tanah berdasarkan ukuran butir (Liong, 2001)

1. Struktur partikel tanah

Struktur tanah didefinisikan sebagai susunan geometrik butiran tanah. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi struktur tanah adalah bentuk, ukuran, dan komposisi mineral dari butiran tanah serta sifat dan komposisi dari air tanah. Bentuk dan ukuran partikel serta distribusinya dalam komposisi tanah disebut tekstur tanah. Pasir dan kerikil bertekstur kasar, sebaliknya lanau dan lempung bertekstur halus karena lanau dan lempung terbentuk dari partikel-partikel halus yang tidak kasat mata.

Berdasarkan teksturnya, tanah dibagi atas tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Batas antara tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus adalah butiran yang kasat mata. Tanah pasir yang butirannya berukuran antara 0,074 mm hingga 5 mm berkisar dari kasar (3 - 5 mm) sampai halus (<1mm). Partikel tanah

lanau pada umumnya berukuran dari 0,002 sampai 0,074 mm. Partikel-partikel tanah lempung berbentuk batang-batang pipih dan berukuran kurang dari 0,002 mm (Liong, 2000).

Butiran tanah yang dapat mengendap pada suatu larutan suspensi secara individu, tak bergantung pada butiran yang lain akan berupa susunan tunggal seperti pasir, kerikil, atau beberapa campuran pasir dan lanau. Susunan tanah sangat tergantung pada distribusi ukuran butiran, susunan serta kerapatan butiran (Hardiyatmo, 2010).

Tanah granular dapat membentuk hubungan sarang lebah *(honey comb)* yang dapat mempunyai angka pori yang tinggi. Lengkungan butiran dapat mendukung beban statis, tapi susunan ini sangat sensitif terhadap longsoran, getaran atau beban dinamis. Adanya air dalam susunan butir tanah yang sangat tidak padat mengubah sifat-sifat teknisnya (Hardiyatmo, 2010). Kerapatan relatif sangat berpengaruh pada sifat-sifat teknis tanah granuler karena itu diperlukan pengujian terhadap contoh-contoh tanah pasir pada kodisi kerapatan relatif yang sama seperti kondisi asli dilapangan, oleh sebab itu dalam praktek digunakan beberapa macam alat penetrasi untuk mengetahui sifat-sifat tanah granuler. Pada cara ini, nilai tahanan penetrasi secara kasar dihubungkan dengan nilai kerapatan relatifnya. Karakteristik tanah granuler tidak hanya cukup ditinjau kerapatan relatifnya, sebab ada kemungkinan dua tanah pasir dengan angka pori dan kerapatan relatif sama, mempunyai susunan butiran yang berbeda.

Kebalikan dari tanah pasir, partikel-partikel tanah lempung mempunyai permukaan spesifik yang jauh lebih dominan dari gaya beratnya yang relatif kecil. Gaya-gaya antar partikel lebih ditentukan oleh interaksi gaya-gaya permukaan dengan molekul-molekul air disekelilingnya. Molekul air merupakan molekul bipolar (ada kutub positif dan negatif) dan karena permukaan partikel tanah lempung bermuatan negatif, maka kutub positif molekul air yang disebut air terabsorbsi yang berbeda perilakunya dengan air bebas. Keberadaan partikel tanah lempung menyebabkan molekul-molekul air terarah dalam rangkaian-rangkaian (Das, 1995).

2. Sifat-sifat fisik tanah (Indeks Properties)

Sifat fisik tanah adalah sifat tanah dalam keadaan asli yang digunakan untuk menentukan jenis tanah.

a. Berat jenis tanah *(Specific Grafity).*

Pengujian berat jenis berdasarkan standar (ASTM D 2218, AASTHO T 265) dapat didefenisi sebagai perbandingan antara berat volume partikel tanah dengan berat volume air (Liong, 2000). Tabel 2 sebagaimana disajikan dibawah ini menunjukan nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah.

Tabel 2. Berat jenis tanah (Hardiyatmo, 2010)

Macam tanah	Berat jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68

Lempung organik	2,58 - 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

b. Kadar air.

Pengujian kadar air berdasarkan standar (ASTM D 2216, AASTHO 265-79). Sifat-sifat tanah sangat tergantung pada ukuran butirnya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk ukuran dan klasifikasi tanah. Untuk tanah kering besaran kadar air adalah 0 %. Pada umumnya kadar air tanah adalah kurang dari 100 % (Liong, 2000).

c. Pemeriksaan gradasi.

1) Tanah berbutir kasar

Distribusi ukuran butir untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Caranya, tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung.

2). Tanah berbutir halus (Hydrometer)

Distribusi ukuran butir tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi.

Metode ini didasarkan pada hukum Stokes, yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran. Hukum Stokes tidak cocok untuk butiran yang lebih kecil dari 0,0002 mm, karena

gerak turunnya butiran akan dipengaruhi oleh gerak Brownian. Ukuran butiran dianggap sebagai diameter bola yang akan mengendap pada kecepatan yang sama, pada besaran butiran yang sama (Hardiyatmo, 2010). Untuk tanah yang terdiri dari campuran butiran halus dan kasar, analisis gabungan antara saringan dan sedimen dapat digunakan seperti terlihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Saringan standar Amerika (Hardiyatmo, 2010)

No.saringan	Diameter lubang (mm)	No.saringan	Diameter lubang (mm)
3	6,35	40	0,42
4	4,75	50	0,30
6	3,35	60	0,25
8	2,36	70	0,21
10	2,00	100	0,15
16	1,18	140	0,106
20	0,85	200	0,075
30	0,60	270	0,053

d. Batas-batas Atterberg

Bila suatu contoh tanah berbutir halus (lempung atau lanau) yang telah dicampur air sehingga mencapai keadaan cair, selanjutnya jika campuran ini menjadi kering lagi sedikit demi sedikit, maka tanah ini akan melalui beberapa keadaan tertentu dari keadaan cair sampai keadaan beku, keadaan-keadaan ini dipakai istilah untuk pembatasan yaitu : batas cair (liquid limit), batas plastis

(plastic limit), dan batas susut (shrinkage limit). Nilai yang paling penting adalah batas cair dan batas plastis (disebut batas-batas Atterberg) (Liong, 2001). Batas cair (LL) didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Batas susut (SL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis (PI = LL–PL) yang merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah seperti lanau berakibat tanah menjadi kering (Hardiyatmo, 2010).

Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg seperti pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Nilai indeks plastisitas dan macam tanah (Hardiyatmo, 2010)

PI	Sifat	Macam tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesi
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesi sebagian
7– 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesi
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesi

3. Klasifikasi tanah

Menurut Soedarmo dan Purnomo (2001), tanah diklasifikasikan sebagai tanah yang kohesif dan tidak kohesif atau sebagai tanah yang berbutir kasar dan halus. Dari hasil penyelidikan di laboratorium atau di lapangan, dapat diketahui sifat-sifat alami dan teknis tanah tersebut serta dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu dalam bidang teknik sipil, antara lain :

1) Menentukan rembesan, daya rembes dan kecepatan rembesan air yang melalui penampang tanah serta koefisien rembesannya.
2) Menentukan pemampatan tanah yang berdasarkan teori Terzaghi dan penurunan, maka dapat digunakan untuk mengevaluasi penurunan konstruksi.
3) Menentukan kuat geser tanah, agar kemantapan lereng bendungan, tanggul dan lain-lain dapat di evaluasi.

Terdapat beberapa sistem klasifikasi tanah yang diterima secara universal diantaranya sistem klasifikasi berdasarkan persentase susunan butir tanah, sistem kesatuan tanah, AASHTO *(American Association of State Hihway and Transportation Officials)*, ASTM (*American Society of Testing and Material)*.

a. Sistem klasifikasi berdasarkan persentase susunan butir tanah

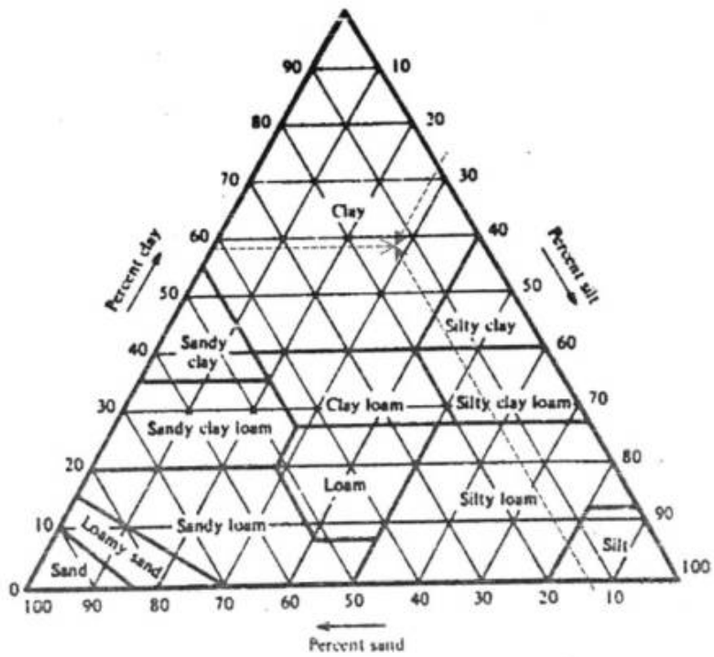
Sistem klasifikasi ini dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah yaitu :

Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm.

Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm.

Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002.

Sedangkan tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Berdasarkan Gambar 11 di bawah ini, tanah dibagi atas beberapa kelompok antara lain : kerikil, pasir, lanau dan lempung. Dalam sistim klasifikasi tanah berdasarkan tekstur.



Gambar 11. Diagram klasifikasi berdasarkan tekstur (Das, 1995)

Dalam sistim klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (sandy clay), lempung berlanau (silty clay) dan seterusnya (Das,1995).

b. Berdasarkan kesatuan tanah (USCS).

Sistem ini diperkenalkan oleh Cassagrande pada tahun 1942 untuk dipergunakan oleh Kesatuan Engineering Angkatan Darat Amerika selama perang dunia II (Das, 1995). Pada sistem kesatuan tanah ini, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50 % lolos saringan no. 200. untuk tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50 % lolos saringan no.200, selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 5 (Hardiyatmo, 2010).

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem kesatuan tanah adalah sebagai berikut : menentukan tanah apakah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200. Jika tanah berupa butiran kasar :

1) Menyaring tanah tersebut dan menggambarkan grafik distribusi butirannya.
2) Menentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila prosentase butiran yang lolos ≤ 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila prosentase yang lolos > 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai pasir.
3) Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200 jika prosentase butiran yang lolos ≤ 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi dengan menghitung Cu dan Cc. Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila berkerikil) atau SW (bila pasir). Jika

termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila berkerikil) atau SP (bila pasir).

4) Jika prosentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 di antara 5% sampai dengan 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).

5) Jika prosentase butiran tanah lolos saringan no.200 > 12%, harus

diadakan pengujian batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tertinggal dalam saringan no.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).

Jika tanah berbutir halus :

1) Menguji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50%, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).

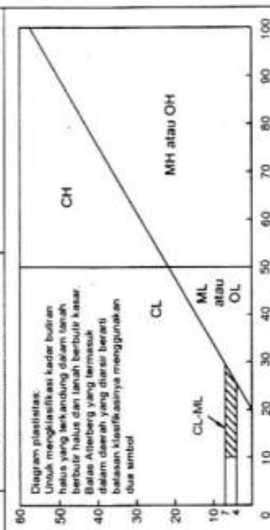
2) Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.

3) Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai

organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.

4) Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50%, gunakan simbol dobel.

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih tidak lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)			
	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kriteria untuk GW
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau *PI* < 4 — Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau *PI* > 7
	Pasir 50 % atau lebih dari fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)			
	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kriteria untuk SW
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau *PI* < 4 — Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau *PI* > 7
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GW, GP, SW, SP, Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan no. 200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (*"lean clays"*)	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*"fat clays"*)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi		P_t	Gambut (*"peat"*) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di *ASTM Designation* D-2488



Tabel 5. Klasifikasi tanah sistem *Unified* (Hardiyatmo, 2010)

c. Sistem klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official)* dikembangkan pada tahun 1929 dan mengalami beberapa kali revisi hingga tahun 1945 yang dipergunakan hingga sekarang (Das, 1995). Sistem klasifikasi ini dibuat oleh *American Association of State Highway and Transportation Official,* terutama dikembangkan untuk menganalisis material subgrade dalam pembangunan jalan raya (Liong, 2000).

Menurut Hardiyatmo (2010) sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official)* berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, subbase, dan subgrade. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah kedalam 8 kelompok A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok (Tabel 5) tanah-tanah dalam dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

Untuk mengevaluasi pengelompokan lebih lanjut digunakan indeks kelompok/*group index* (GI), dengan persamaan :

$GI = (F - 35)[0{,}2 + 0{,}005\ (LL - 40)] + 0{,}01\ (F - 15)(PI - 10)$

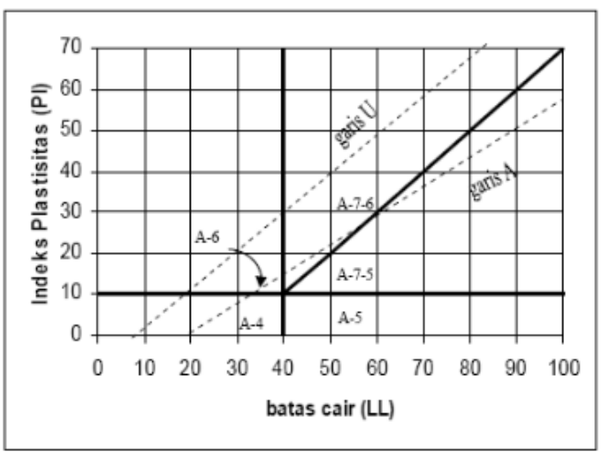
GI = indeks kelompok / *group index*

F = prosentase lolos saringan No. 200

LL= batas cair

PI = indeks plastisitas

Bila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaan. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35 % lolos saringan no.200), tapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung - lanau. Beda keduanya didasarkan pada batas-batas Atterberg terlihat pada Gambar 12. Dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok A - 4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok A-2. Pada Gambar 12, garis – A dari Casagrande digambarkan bersama-sama dengan garis U yang dinyatakan oleh persamaan : PI = 0,9 (LL- 8). Garis-U adalah garis batas atas dari hubungan LL dan PI untuk tanah-tanah di alam pada umumnya.



Gambar 12. Nilai-nilai batas-batas Atterberg (Hardiyatmo, 2010)

Di Indonesia, metode yang digunakan adalah metode AASHTO sebagai acuan dalam menyusun standar perencanaan tebal perkerasan lentur sebagaimana terlihat pada Tabel 6. Untuk memahami standar perencanaan dengan baik, perlu dipahami tentang metode AASHTO dan penelitian dilakukan pada jalan percobaan. Hasil penelitian pada jalan percobaan yang dilaksanakan pada tahun 1958 – 1960 di Ottawa, Illinois, merupakan cikal bakal metode AASHTO yang berkembang sampai dengan saat ini (Hardiyatmo, 2010)

Tabel 6. Sistem klasifikasi AASHTO (Hardiyatmo, 2010)

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no. 200)			
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (*LL*) Indeks plastis (*PI*)	- 6 maks	-	- Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks kelompok (*G*)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Catatan :
Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (*PL*)
Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5 ;
Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6
Np = Nonplastis

d. Perbandingan sistem Unified dengan sistem AASHTO

Berdasarkan hasil pengujian terhadap properties tanah, kemudian ditentukan kelompok jenis tanah sistem unified, selanjutnya dapat dil ihat perbandingannya dengan sistem AASHTO pada kelompok sangat mungkin, mungkin atau kemungkinan kecil seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan sistem Unified dengan Sistem AASHTO (Hardiyatmo,2010)

Kelompok tanah sistem Unified	Kelompok tanah yang sebanding dengan sistem AASHTO		
	Sangat mungkin	Mungkin	Kemungkinan kecil
GW	A-1-a	-	A-2-4, A-2-5 A-2-6, A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-5, A-1-a
GC	A-2-6, A-2,7	A-2-4, A-6	A-4, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7

SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4, A-5	A-6, A-7-6, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2,7	A-2-4, A-6, A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5	-
CL	A-6, A-7-6	A-4	-
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	-
MH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	-
OH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
Pt	-	-	-

e. Perbandingan sistem ASSHTO dengan sistem Unified

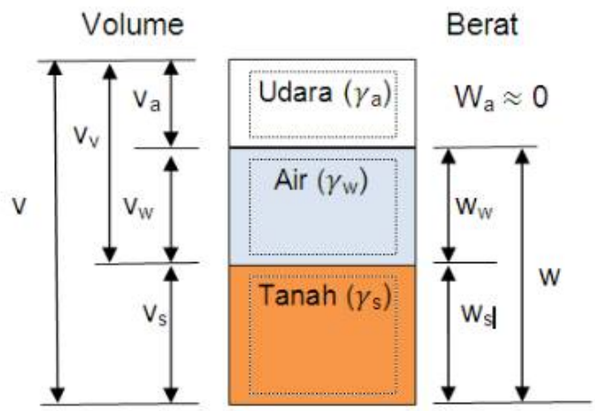
Berdasarkan hasil pengujian terhadap properties tanah, ditentukan kelompok tanah sesuai sistem AASHTO, selanjutnya dilihat perbandingannya dengan kelompok tanah dalam sistem Unified seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan sistem AASHTO dengan Sistem Unified (Hardiyatmo,2010)

Kelompok tanah AASHTO	Kelompok tanah yang sebanding dalam sistem Unified		
	Sangat mungkin	M ungkin	Kemungkinan kecil
A-1-a	GW	SW,SP	GM,SM
A-1-b	SW,SP,GM,SM	GP	-
A-3	SP	-	SW,GP
A-2-4	GM,SM	GC,SC	GW,GP,SW,SP
A-2-5	GM,SM	-	GW,GP,SW,SP
A-2-6	GC,SC	GM,SM	GW,GP,SW,SP
A-2-7	GM,GC,SM,SC	-	GW,GP,SW,SP
A-4	ML,OL	CL,SM,SC	GM,GC
A-5	OH,MH,ML,OL	-	SM,GM
A-6	CL	ML,OL,SC	GC,GM,SM
A-7-5	OH,MH	ML,OL,CH	GM,SM,GC,SC
A-7-6	CH,CL	ML,OL,SC	OH,MH,GC,GM,SM

4. Hubungan antar fase

Tanah sebagai material multi fase terdiri dari partikel tanah dan pori-pori yang terisi udara dan/atau air, dapat digambarkan dalam diagram fase sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 13 di bawah ini (Liong, 2000).



Gambar 13. Diagram fase tanah (Liong, 2000)

Porositas, n : Perbandingan antara volume pori-pori (V_v) terhadap volume

total tanah (V), dinyatakan dalam persen.

$$n = \frac{V_v}{V} \; x \; 100\% \quad \text{.....(17)}$$

Angka Pori, e : Perbandingan antara volume pori-pori (V_v) terhadap volume

partikel tanah (V_s), dinyatakan dalam desimal.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \text{.....(18)}$$

Hubungan antara porositas dan angka pori adalah :

$$n = \frac{e}{1+e} \qquad e = \frac{n}{1-n} \quad \text{.....(19)}$$

Derajat kejenuhan, S : Perbandingan volume air (V_w) terhadap volume pori-

pori, dinyatakan dalam persen.

$$S = \frac{V_w}{V_v} \; x \; 100\% \quad \text{.....(20)}$$

Derajat kejenuhan menyatakan banyaknya air yang mengisi pori-pori tanah. Untuk tanah kering S = 0%, tanah jenuh sebagian S = 0% - 100% dan untuk tanah jenuh air S = 100%.

Kadar air, W : Perbandingan berat air dalam pori-pori, W_w terhadap berat partikel tanah W_s, dinyatakan dalam persen.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \, x \, 100\% \quad \text{.....(21)}$$

Berat jenis, G_s : Perbandingan antara berat volume partikel tanah dengan berat volume air.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \text{.....(22)}$$

BAB V

IMBUHAN BUATAN

Tantangan dimasa mendatang adalah makin terbatasnya sumber air permukaan, serta makin meningkatnya kebutuhan untuk berbagai keperluan sehingga akan terjadi eksploitasi yang berlebihan terhadap air tanah. Untuk menjaga keseimbangan air tanah, maka harus dilakukan upaya konservasi air yang merupakan suatu tindakan pemanfaatan, pengembangan dan perlindungan terhadap sumber daya air dengan cara memasukkan air ke dalam tanah (imbuhan) dalam rangka pengisian air tanah, baik secara alami atau secara buatan (Battacharya, 2010).

Berdasarkan daur hidrologi, sumber utama air bawah tanah adalah berasal dari air hujan maupun air permukaan. Di Indonesia, karena beriklim tropis basah, umumnya menerima curahan hujan yang relatif tinggi lebih dari 1.000 mm/tahun, dengan hari hujan yang relatif panjang. Kondisi ini sangat menguntungkan dalam imbuhan air bawah tanah secara alami antara lain melalui pohon-pohon, hutan, situ dan danau, yang terjadi pada saat musim hujan untuk pengisian dan penggantian *(replenishment)* dari defisit air bawah tanah yang terjadi pada musim kemarau. Dengan demikian akuifer akan mendapat penambahan cadangan airnya. Masalahnya, di daerah-daerah yang telah berkembang terutama di kota-kota besar, peristiwa pengisian kembali air bawah tanah pada musim hujan terhambat karena adanya perubahan tata guna lahan (Arfan, 2012). Daerah-daerah yang sebelumnya merupakan daerah resapan telah tertutup oleh bangunan, sehingga air hujan yang jatuh hanya sedikit yang berkesempatan meresap dan mengimbuh air bawah tanah.

Untuk daerah-daerah yang kondisinya demikian, perlu upaya untuk dilakukan imbuhan buatan (Kurniawan, 2008).

Imbuhan buatan semakin banyak digunakan untuk penyimpanan air bawah tanah jangka pendek atau panjang, sebab memiliki beberapa keunggulan dibandingkan penyimpanan air permukaan. Imbuhan buatan membutuhkan permukaan tanah permeabel. Jika tidak tersedia, parit atau shaft di zona tak jenuh dapat digunakan, atau air bisa langsung disuntikkan ke dalam akuifer melalui sumur. Untuk merancang sebuah sistem untuk imbuhan buatan, kecepatan infiltrasi tanah harus ditentukan dan zona tak jenuh antara permukaan tanah dan akuifer diperiksa, permeabilitasnya harus memadai dan tidak adanya daerah yang tercemar (Bouwer, 2002). Sedangkan Soenarto (2007) mengatakan bahwa hal-hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan imbuhan buatan adalah ketersediaan air permukaan, curah hujan yang cukup dan kondisi geologi dan hidrologi untuk menentukan lokasi serta tipe imbuhan.

1. Pemanenan air hujan.

Pemanenan air hujan merupakan cara mengumpulkan serta memasukkan air hujan ke dalam tanah pada saat musim penghujan, bukan air larian permukaan daerah perkotaan maupun air limbah dengan tujuan untuk menjaga kesinambungan ketersediaan air tanah. Beberapa peraturan yang berkaitan dengan resapan air hujan antara lain SNI 03-2453-2002 tentang cara perencanaan air hujan untuk lahan pekarangan dan peraturan dari Departemen Kimbangwil Pt T-22-2002-C tentang tata cara perencanaan sumur resapan air hujan

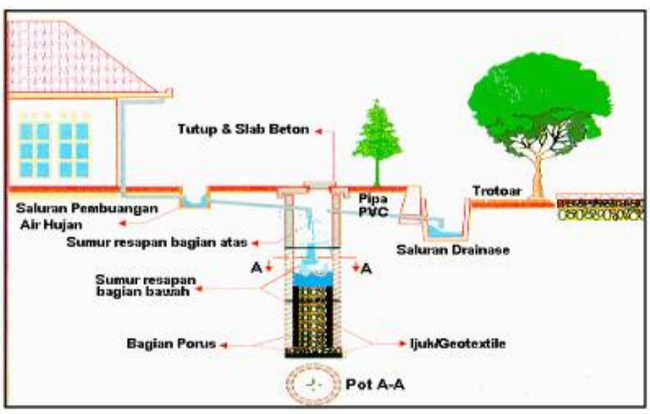
untuk lahan pekarangan. Untuk memanen air ada beberapa metode yang dilakukan antara lain :

a. Sumur resapan dangkal

Konsep dasar sumur resapan dangkal pada hakekatnya memberi kesempatan dan jalan bagi air hujan yang jatuh di atap atau suatu lahan kedap air ditampung pada suatu sistem resapan air (Koosdaryani, 2009), sehingga sangat berbeda dengan cara konvensional dimana air hujan di buang/dialirkan secepatnya ke drainase, sungai dan akhirnya ke laut. Akibat dari sistem ini, infiltrasi akan terminimalkan hingga sumber tampungan air tanah berkurang yang menurut Sunyoto (2011) merupakan pemikiran *con-water mashab* atau nafi air. Manfaat yang dapat diperoleh dengan pembuatan sumur resapan antara lain:

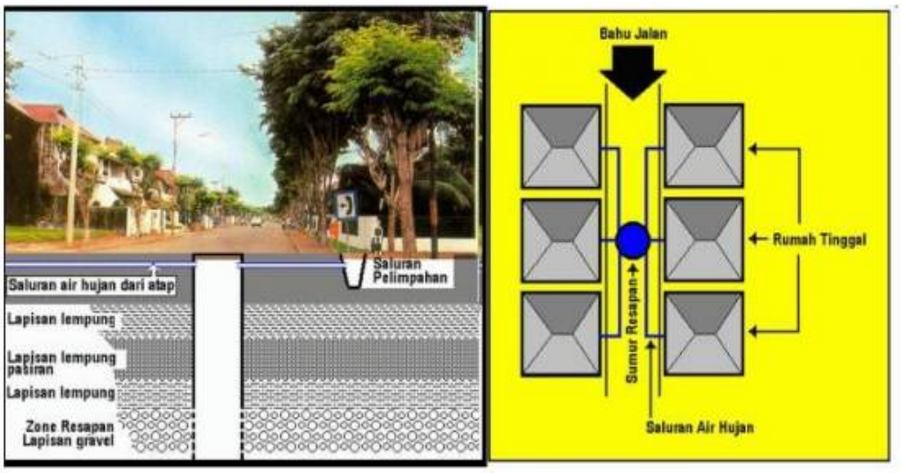
1) Mengurangi air permukaan dan mencegah terjadinya genangan air, sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya banjir dan erosi.
2) Mempertahankan tinggi muka air tanah dan menambah persediaan air tanah.
3) Mengurangi atau menahan terjadinya intrusi air laut bagi daerah yang berdekatan dengan wilayah pantai.
4) Mencegah penurunan atau amblasan lahan sebagai akibat pengambilan air tanah berlebihan.
5) Mengurangi konsentrasi pencemaran air tanah.
6) Mereduksi dimensi jaringan drainase hingga nol jika diperlukan.

Sumur resapan merupakan sumur dengan kapasitas tampungan yang cukup besar sebelum air meresap ke dalam tanah. Dengan adanya tampungan, maka air hujan mempunyai cukup waktu untuk meresap ke dalam tanah, sehingga pengisian tanah menjadi optimal. Bentuk yang digunakan dapat berdinding kedap, porous berisi material serta ada pula yang kosong dengan syarat teknis yang harus dipenuhi adalah kedalaman air tanah minimum 1,5 m, struktur tanah yang digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas > 5,5 x 10^{-4} cm/det dan jarak penempatan sumur resapan air terhadap bangunan 3 meter dari sumur air bersih, 5 meter dari tangki septik serta 1 meter dari pondasi bangunan seperti terlihat pada Gambar 14 (Setiadi, 2011).



Gambar 14. Sumur resapan dangkal (Kusnaedi,2011)

Untuk mengatasi keterbatasan lahan contohnya pada kawasan komplek perumahan sederhana dan sangat sederhana, dapat dilakukan



Gambar 15. Sumur resapan kolektif (Kusnaedi,2011)

dengan cara membuat sumur resapan kolektif (bersama) dimana satu sumur resapan kolektif dapat melayani beberapa rumah, blok maupun RT. Untuk menjamin air berjalan lancar secara gravitasi, sebaiknya sumur resapan kolektif ini diletakkan pada lahan yang paling rendah di antara kawasan yang dilayani seperti terlihat pada Gambar 15 (Suripin, 2004).

b. Sumur resapan dengan tangki modular

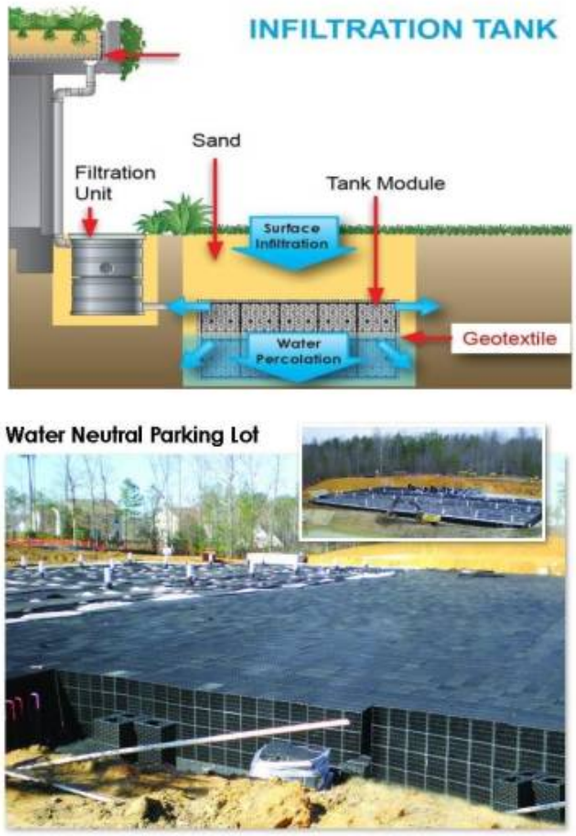
Sejalan dengan perkembangan teknologi, kini telah ditemukan sistim pembuatan sumur resapan modern dengan menggunakan tangki modular dari bahan polimer (plastik). Tidak seperti tangki model lama yang terbuat dari beton berlubang-lubang, tangki modern ini berbentuk kotak dan memiliki kelebihan ini antara lain:

- Sangat praktis karena dalam bentuk terurai, sehingga dapat dirakit di lokasi pemasangan.
- Sangat ringan dan tidak memerlukan peralatan berat untuk pemasangannya.
- Sangat Ramah lingkungan *(environmental friendly)*

- Sangat kuat, karena didesain mampu menahan beban kendaraan diatasnya (sampai 10 ton/m^2)
- Sangat praktis karena mempunyai berbagai dimensi/ukuran, sehingga mampu memenuhi seluruh kebutuhan, mulai dari hanya kapasitas 0.07 m^3 sampai dengan ratusan bahkan ribuan m^3.
- Effisiensi biaya karena dapat menekan biaya penggalian, pengiriman dan instalasi.
- Permukaan tangki memiliki tingkat peresapan air sangat tinggi mencapai diatas 90%.
- Bebas perawatan.
- 1 m^3 tangki modular dapat menampung 950 liter air.

Dengan berbagai kelebihan yang dimiliki oleh tangki modular, diharapkan program untuk pelestarian air tanah dapat berjalan dengan baik, oleh karena dengan produk teknologi mutakhir ini, dapat dibangun sumur/tangki-tangki resapan berkapasitas besar di lahan-lahan terbuka seperti taman, trotoar dan area lainnya. Selain sebagai sumur resapan, tangki modular memiliki berbagai fungsi lain diantaranya sebagai tangki penyimpanan air, kanal bawah tanah *(underground channels)*, sistim drainase jalan raya. Salah satu modelnya dapat dilihat pada Gambar 16.

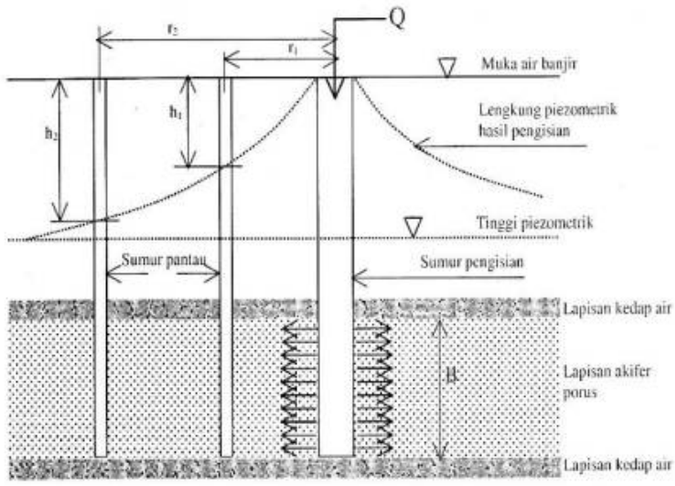
Instalasi atau pemasangan tangki modular relatif sangat mudah dan cepat. Untuk skala kecil tidak memerlukan peralatan selain alat penggali dan tenaga manusia. Sedangkan pada skala sedang sampai besar, peralatan yang dibutuhkan hanya alat penggali sejenis excavator.



Gambar 16. Sumur resapan dengan tangki modular (Setiadi,2011)

c. Sumur resapan dalam

Pada prinsipnya sumur resapan dalam berfungsi sama dengan sumur resapan dangkal, perbedaannya untuk sumur dalam dapat dibuat pada lahan sempit untuk mengisisi air tanah pada lapisan akuifer tertekan yang terletak jauh di bawah permukaan tanah serta tekanan piezometrik akuifer tertekan rendah, sementara muka air tanah bebasnya sangat dekat atau bahkan berada pada permukaan tanah akibat genangan.



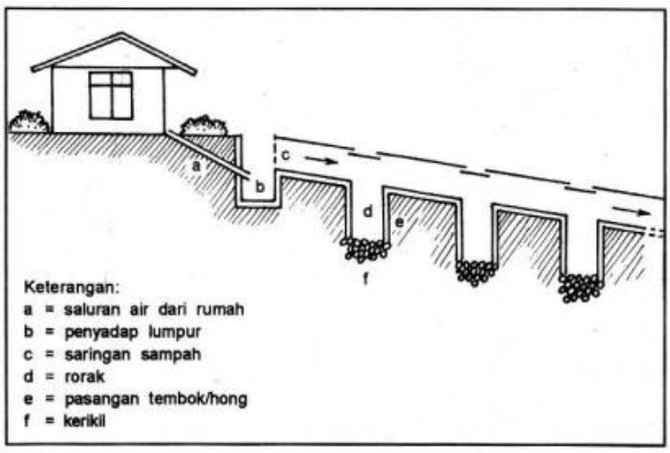
Gambar 17. Sumur resapan dalam (Suripin,2004)

Konstruksi sumur resapan dalam yang ilustrasinya seperti pada Gambar 17, harus mampu menahan tekanan tanah yang cukup besar akibat kedalamannya. Untuk menghindari terjadinya pencemaran air tanah, maka air yang dimasukkan harus air bersih saja tidak dibenarkan air limbah, sehingga diperlukan kolam penyaring air (Zekai, 2002).

d. Sumur resapan parit berorak

Model sumur resapan parit berorak meresapkan air melalui parit-parit yang di bawahnya diberi sumur-sumur (rorak) penampung air. Dengan demikian, air hujan yang masuk ke dalam parit tidak semuanya mengalir sebagai limpasan permukaan, melainkan tertampung dalam rorak dan dapat meresap ke dalam tanah (Kusnaedi, 2011). Model ini cocok untuk lahan yang tidak luas dan berlereng, namun harus dipelihara secara insentif agar tidak tertutup sampah atau lumpur. Setiap parit dilengkapi dengan saringan sampah dari besi dan penyadap lumpur yang setiap saat

dapat dikeruk. Rorak di buat pada dasar parit yang lebarnya berdasarkan lebar parit. Kedalamannya antara 1 m hingga 2 m, untuk menghindari terjadinya longsor dindingnya harus diberi pasangan tembok yang pada dasarnya di beri kerikil atau batu pecah. Adapun konstruksi sumur resapan parit berorak terlihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Sumur resapan parit berorak (Kusnaedi,2011)

e. Lubang biopori

Kondisi kota-kota besar yang memiliki lahan resapan air yang sangat sedikit disertai dengan penggunaan air tanah yang sangat berlebihan menyebabkan penurunan permukaan tanah serta mengakibatkan sulitnya untuk mendapatkan air berkualitas baik dan cukup di kawasan tersebut. Demikian pula, keseimbangan lingkungan semakin rusak dan tidak terkendali dengan penggundulan hutan sehingga memperparah kondisi yang sudah ada. Untuk itulah diperlukan adanya gerakan pelestarian alam sekitar yang dilakukan secara bersama-sama oleh semua pihak serta berkesinambungan. Menurut Rahmat (2012), salah satu cara yang dapat ditempuh untuk mencegah mengalirnya air hujan ke selokan

yang kemudian terbuang percuma ke laut lepas adalah dengan pembuatan lubang biopori resapan atau LBR. Adapun definisi dan pengertian lubang biopori adalah lubang dengan diameter 10 sampai 30 cm dengan panjang 30 sampai 100 cm ditutupi sampah organik, berfungsi untuk menjebak air yang mengalir di sekitarnya sehingga dapat menjadi sumber cadangan air bagi air bawah tanah, tumbuhan di sekitarnya serta dapat juga membantu pelapukan sampah organik menjadi kompos yang bisa dipakai untuk pupuk tumbuh-tumbuhan.

Manfaat dari lubang resapan biopori (LRB) adalah :

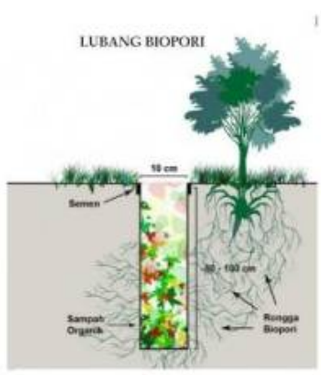
1) Memaksimalkan air yang meresap ke dalam tanah sehingga menambah air tanah.
2) Membuat kompos alami dari sampah organik daripada dibakar.
3) Mengurangi genangan air yang menimbulkan penyakit.
4) Mengurangi air hujan yang dibuang percuma ke laut.
5) Mengurangi resiko banjir di musim hujan.
6) Maksimalisasi peran dan aktivitas flora dan fauna tanah.
7) Mencegah terjadinya erosi tanah dan bencana tanah longsor.

Tempat yang dapat dibuat / dipasang lubang biopori resapan air :

1) Pada alas saluran air hujan di sekitar rumah, kantor, sekolah, dsb.
2) Disekeliling pohon.
3) Pada tanah kosong antar tanaman / batas tanaman.

Bentuk lubang biopori resapan air dapat dilihat pada Gambar 19 dan dapat dilakukan seperti berikut :

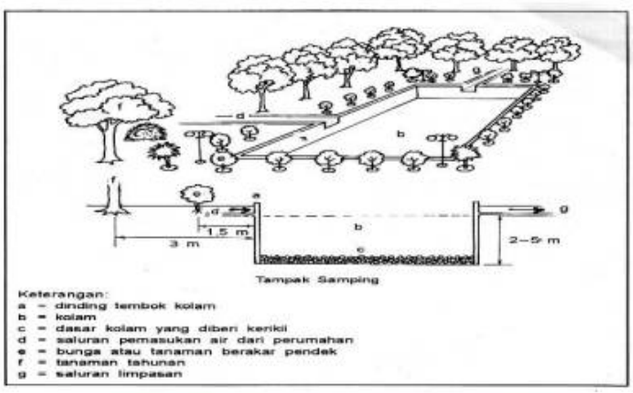
1) Membuat lubang silindris di tanah dengan diameter 10-30 cm dan kedalaman 30 hingga 100cm serta jarak antar lubang 50-100 cm.
2) Mulut lubang dapat dikuatkan dengan semen setebal 2 cm dan lebar 2-3 cm serta diberikan pengaman agar tidak ada anak kecil atau orang yang terperosok.
3) Lubang diisi dengan sampah organik seperti daun, sampah dapur, ranting pohon, sampah makanan dapur non kimia, dsb. Sampah dalam lubang akan menyusut sehingga perlu diisi kembali dan di akhir musim kemarau dapat dikuras sebagai pupuk kompos alami.
4) Jumlah lubang biopori yang ada sebaiknya dihitung berdasarkan besar kecil hujan, laju resapan air dan wilayah yang tidak meresap air dengan rumus = intensitas hujan (mm/jam) x luas bidang kedap air (meter persegi) / laju resapan air perlubang (liter / jam).



Gambar 19. Lobang biopori resapan (Kusnaedi, 2011)

f. Kolam resapan

Kolam resapan merupakan kolam terbuka yang khusus dibuat untuk menampung air hujan dan meresapkannya ke dalam tanah. Model kolam resapan cocok untuk kawasan dimana air tanahnya dangkal namun tersedia lahan yang cukup luas. Model ini dapat dipadukan dengan pertamanan atau hutan kota seperti terlihat pada Gambar 20. Dengan demikian kolam resapan dapat mempunyai fungsi ganda yakni konservasi air dan nilai estetika (Kusnaedi, 2011).

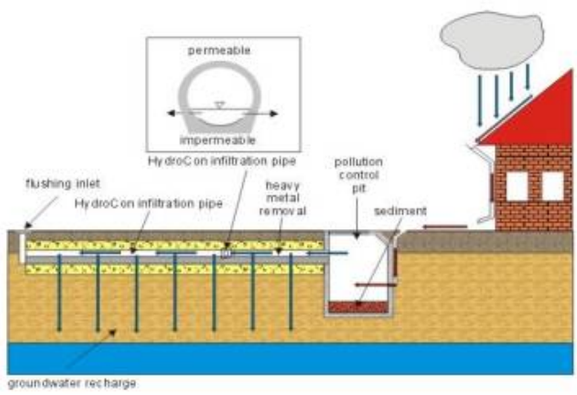


Gambar 20. Kolam resapan (Kusnaedi, 2011)

g. Infiltrasi melalui pipa bawah tanah

Air hujan dari atap dapat diinfiltrasi ke dalam tanah melalui pipa berlubang yang ditempatkan di bawah lapisan tanah, perkerasan kendaraan seperti jalan atau parkir mobil. Pipa dengan diameter yang berbeda dapat digunakan sebagai kapasitas tampungan.

Pipa paralel atau pipa tunggal dapat diatur untuk menaikkan kapasitas infiltrasi dengan melubangi bagian bawah pipa. Disekeliling pipa bawah tanah diberi batu pecah atau kerikil, serta di buat instalasi bak kontrol untuk menghalangi material sedimen atau limbah padat yang akan menjadi sumbatan di dalam pipa. Sedangkan untuk penggelontoran dibuat *inlet flushing* pada ujung pipa. Adapun model infiltrasi ini, dapat dilihat pada Gambar 21 (Dierkes, et.al, 2002).



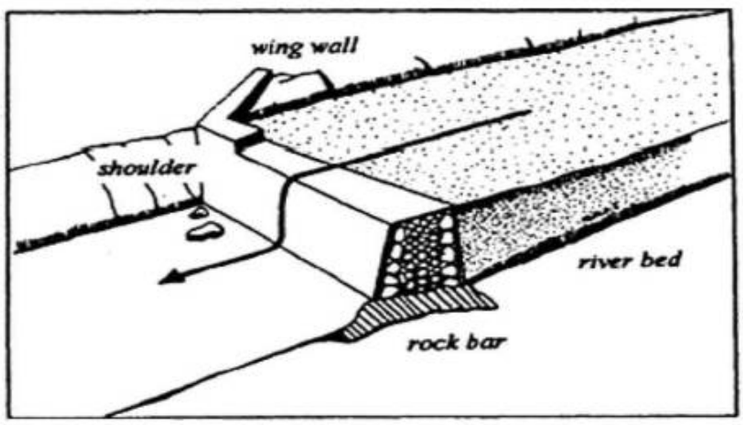
Gambar 21. Infiltrasi melalui pipa bawah tanah (Dierkes, et.al, 2002)

2. Metode in-channel structure.

Pada metode *in-channel structure*, pengimbuhan air tanah dilakukan dengan cara memanfaatkan aliran sungai yang ada, di mana pada saluran sungai tersebut dibangun beberapa waduk

pengendali berukuran kecil secara melebar atau memotong aliran tersebut, untuk memperlambat jalannya aliran sungai dan memperpanjang waktu kontak antara air dan dasar sungai sehingga memperbesar jumlah peresapan air sungai ke dalam lapisan tanah/batuan di bawahnya, seperti yang telah dibangun di Voi dan Kitui Kenya berupa bendungan penampung pasir untuk dipergunakan bagi ternak, pengairan serta pemakaian domestik.

Prinsip dasar dari bendungan ini adalah air disimpan dibawah permukaan. Kehilangan evaporasi dan risiko pencemaran dapat dikurangi seperti pada Gambar 22 (Hut *et al*, 2008).

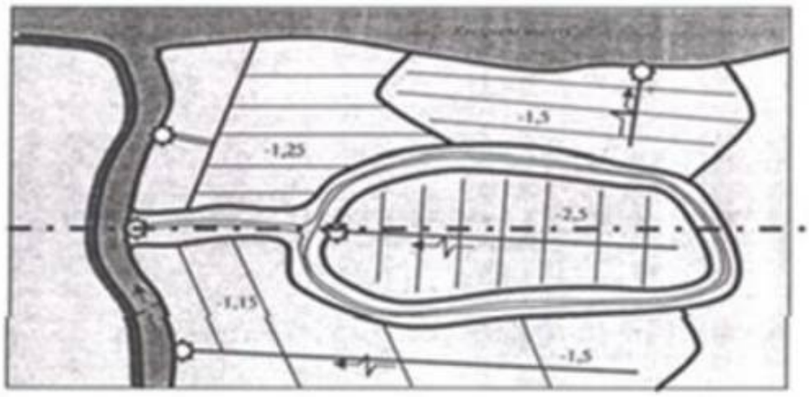


Gambar 22. Bendung penampung pasir (Hut et al, 2008)

3. Metode off-channel structure

Metode *off-channel structure*, atau imbuhan air tanah lekukan merupakan pengimbuhan air dengan mengalirkan air dari sungai atau saluran air permukaan ke dalam suatu lekukan yang dibuat dengan cara penggalian ataupun dengan cara pembuatan tanggul dan dam kecil, agar air dapat memiliki waktu tinggal lebih

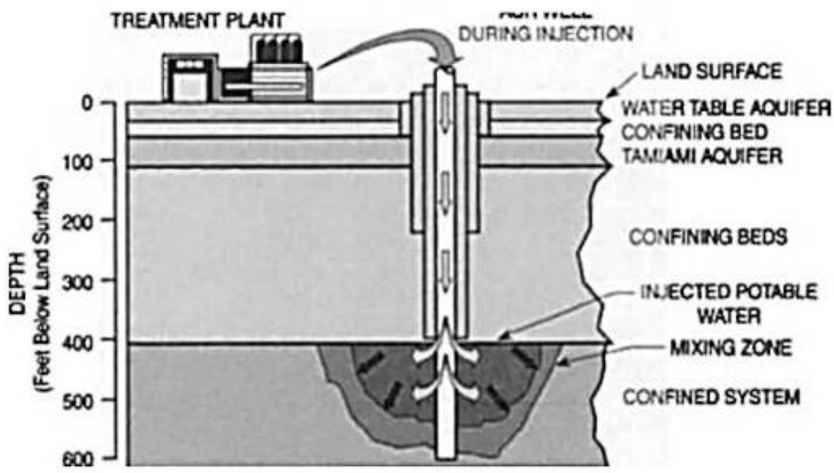
lama sehingga sedikit demi sedikit air dapat meresap ke dalam tanah seperti terlihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Model *off-channel structure* sistim Polder (Suripin, 2004)

4. Metode sumur injeksi

Tujuan dilakukannya penginjeksian air yang bersumber dari air genangan banjir adalah untuk mengurangi sebagian atau bahkan meniadakan beban volume banjir yang terjadi, sedemikian sehingga juga bisa mengurangi atau meniadakan kerugian jiwa, harta benda dan finasial akibat banjir tersebut. Air yang di injeksi sebaiknya sudah diolah terlebih dahulu sehingga bebas dari bahan pencemar ke dalam akuifer. Untuk menginjeksi dapat dilakukan dengan dua cara yakni dengan menggunakan pompa tekan dan menggunakan tinggi tekan elevasi yang sudah terbentuk di puncak bukit sebagai tekanan ke dalam sumur injeksi. Metode pengimbuhan air tanah melalui sumur injeksi merupakan salah satu cara yang paling praktis dan banyak diaplikasikan di kota-kota besar. Hal ini telah berhasil dilakukan di Bali, pada lokasi Hotel Kartika Plaza, yang berada di daerah Kuta dan berada cukup dekat dengan bandara Internasional Ngurah Rai seperti pada Gambar 24 di bawah ini.



Gambar 24. Sumur injeksi (Soenarto, 2007)

Keberhasilan penerapan dua sumur injeksi yang dibangun tahun tahun 2003 dengan dana APBD ini adalah untuk mengatasi masalah genangan banjir setinggi setengah meter di depan hotel tersebut, yang selalu terjadi pada musim hujan. Kedalaman sumur injeksi hanya 60 m dengan diameter 15 cm, yang mampu menyerap air 15 l/det dalam waktu 7 jam (Soenarto, 2007).

Disamping itu pula terdapat pula metode *Aquifer Storage and Recovery* (ASR) merupakan suatu sistem penyimpanan air pada akifer melalui sumur injeksi ketika air tersedia di musim hujan dan pengambilan air kembali dari akuifer tersebut melalui sumur bor yang sama ketika air dibutuhkan pada musim kemarau. Konstruksi sumur injeksi imbuhan ini juga dilengkapi pizometer sebagai pemantau atau monitoring. Selain itu juga dilengkapi bangunan pelengkap untuk pengolahan air imbuhannya (Taufik, 2009).

BAB VI

WADUK RESAPAN

1. Fungsi waduk resapan.

Salah satu bentuk imbuhan buatan adalah waduk resapan yang merupakan salah satu jenis waduk memiliki fungsi utama sebagai media resapan air agar dengan mudah dan cepat masuk ke dalam lapisan akuifer. Model waduk ini cocok untuk lahan dengan permukaan air tanah dangkal dan tersedia lahan yang luas (Oblinger et.al, 2010). Sedangkan menurut Sudinda (2004) yang bertindak sebagai Ketua tim proyek pengembangan waduk resapan Kementrian Ristek, filosofi dasar dalam pengembangan waduk resapan adalah bagaimana memperkecil limpasan permukaan dan meningkatkan kemampuan tanah dalam meresapkan aliran permukaan. Pembuatan waduk resapan berbeda dengan pembuatan waduk pada biasanya. Waduk resapan dibuat dengan dasar waduk yang dihubungkan langsung dengan lapisan akuifer. Waduk resapan pada hakekatnya dapat diklasifikasikan ke dalam waduk tunggal guna (*single purpose*) yaitu berfungsi sebagai pengendali banjir dengan sistem kerja meningkatkan optimalisasi fungsi akuifer, yaitu menambah kemampuan daya simpan air pada lapisan akuifer. Namun pada beberapa kondisi waduk resapan memiliki fungsi lain (*multi purpose*). Maksud dari pada pembuatan waduk resapan ini hampir sama dengan sumur resapan. Perbedaan keduanya terletak pada luasan dan tujuan, dimana waduk resapan dibangun dengan luasan yang lebih besar dari pada sumur resapan, sehingga dapat menambah cadangan air tanah dalam volume besar dan sekaligus sebagai pengendali banjir dibandingkan sumur resapan yang volumenya relatif kecil. Dalam penerapannya perlu dikaji secara

mendalam untuk memperoleh gambaran seberapa efektif dapat mengatasi banjir dari kedua metode di atas. Menurut Pedretti dkk (2010), teknik pengaturan lahan, penerapan tindakan dan teknik konservasi tanah berupa sumur resapan dan waduk resapan berupaya mengendalikan banjir dengan cara menurunkan limpasan dan meningkatkan infiltrasi dan perkolasi. Dengan demikian air hujan yang berpotensi mendatangkan limpasan permukaan dapat diturunkan dan sebagian besar, mengisi akuifer di bawahnya. Masing-masing cara di atas mempunyai kelebihan dan kekurangan, sumur resapan mempunyai ukuran kecil sehingga jumlah air yang diresapkan ke dalam tanah juga sedikit tapi lebih mudah dilakukan dalam skala rumah tangga. Waduk resapan akan lebih banyak merembeskan air jika lokasinya berada pada *recharge* akuifer air bawah tanah walau biaya yang diperlukan besar.

Adapun kegunaan dari waduk resapan adalah :

1) Mengoptimalkan fungsi akuifer sehingga dapat menambah daya simpan air pada akuifer.
2) Mengurangi aliran permukaan dan mencegah terjadinya genangan air sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya banjir didaerah hilir .
3) Mempertahankan tinggi muka air tanah dan menambah cadangan air untuk kebutuhan di musim kemarau.
4) Mengurangi atau menahan terjadinya kenaikan air laut bagi daerah yang berdekatan dengan wilayah pantai.
5) Mencegah penurunan atau amblesan tanah yang berlebihan.

6) Mengurangi konsentrasi pencemaran tanah (Sem dan Al-Suba'i, 2009).

Hasil studi Kementerian Riset dan Teknologi (Ristek) yang sudah dilakukan sejak 2003 lalu diketahui bahwa penerapan teknologi waduk resapan mampu mengatasi banjir dan kekeringan yang melanda Indonesia setiap tahun sebab tingkat peresapan (laju infiltrasi) waduk resapan cukup tinggi (Media Indonesia, 17 Maret 2004. *Waduk resapan atasi banjir dan kekeringan*, 3).

2. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pembuatan waduk resapan

Dalam perencanaan waduk resapan, perlu dipertimbangkan faktor iklim, ketersediaan air permukaan, kondisi tanah dan pemeliharaan.

1) Faktor iklim.

Faktor iklim merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan waduk resapan khususnya masalah besarnya curah hujan. Semakin besar curah hujan disuatu wilayah, maka dimensi waduk juga di usahakan sebesar mungkin agar dapat menampung air sebanyak-nyaknya untuk di imbuhkan ke dalam tanah sekaligus mengurangi limpasan permukaan. Menurut Kusnaedi (2010), besarnya curah hujan dapat dibedakan menjadi tiga kelas yakni curah hujan rendah (<1.500 mm/tahun), curah hujan sedang (1.500-2500 mm/tahun) dan curah hujan tinggi (>2.500 mm/tahun).

2) Ketersediaan air permukaan.

Air permukaan yang berasal dari sungai harus tersedia secara terus menerus khususnya pada musim kemarau, oleh karena fungsi waduk resapan untuk meresapkan air ke dalam tanah, maka suplai air ke dalam waduk tidak boleh terhenti kecuali pada masa pemeliharaan jika tidak, waduk akan menjadi kering.

3) Kondisi permukaan air tanah.

Pada kondisi permukaan air tanah dalam, waduk resapan sangat

perlu di buat agar dapat mengisi lapisan akuifer. Namun sebaliknya pada kondisi air tanah dangkal, pembuatan waduk resapan kurang efektif karena hanya berfungsi sebagai tandon air saja.

4) Kondisi sifat fisik tanah

Keadaan sifat fisik tanah sangat berpengaruh pada besar kecilnya daya resap tanah terhadap air hujan maupun air permukaan. Tanah berpasir dan porous yang memiliki koefisien besar mampu melakukan imbuhan dengan cepat dan debit yang besar.

5) Pemeliharaan

Waduk resapan sangat rentan terhadap penyumbatan akibat pori-pori pasir tertutup oleh sedimentasi. Olehnya itu, bangunan pelengkap berupa kolam endapan senantiasa dibersihkan dari endapan sedimentasi serta

dasar waduk dikeruk apabila sudah tertutup sedimen dan diganti dengan material pasir yang bersih (Anuraga, 2006)

3. Penelitian terdahulu.

Berdasarkan pemahaman tersebut di atas, beberapa peneliti telah melakukan penelitian terhadap waduk resapan antara lain :

1) Hasil simulasi waduk resapan seperti terlihat pada Gambar 26, menggunakan metode beda hingga di kawasan Universitas Indonesia (UI) pada areal seluas kurang lebih 0,5 hektare mampu meresapkan aliran permukaan dengan laju infiltrasi mencapai 1.933 m^3/hari atau 22,37 lt/det. Apabila dikonversikan dengan kebutuhan air, maka setara dengan kebutuhan air bagi 32.213 penduduk masyarakat pedesaan atau setara dengan kebutuhan air bagi 16.106 penduduk masyarakat perkotaan yang setiap harinya memakai 60-120 lt per kapita, mampu mencukupi kebutuhan areal pertanian seluas 41,4 ha serta mampu mencukupi kebutuhan air baku bagi kawasan industri seluas 30-40 hektare (Sudinda, 2004).

Gambar 26. Waduk resapan di Kampus UI (Sudinda, 2004)

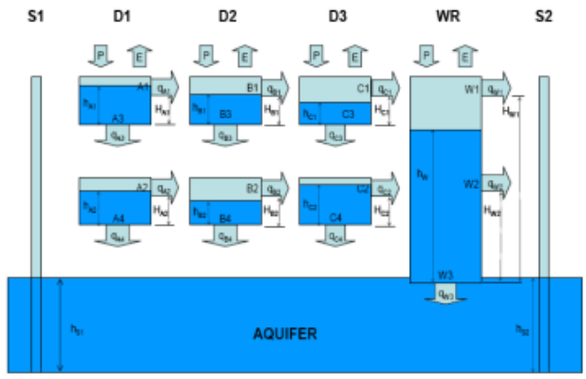
2) Demikian pula dengan Djudi (2006) melaporkan hasil penelitiannya pada waduk resapan Tambakboyo yang terletak di Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta seperti terlihat pada Gambar 27. Hasil uji pengeboran sampai kedalaman 25 m, kondisi tanah dasar merupakan tanah pasir yang berasal dari sedimentasi vulkanik dengan koefisien permeabilitas berkisar antara 1,1 x 10^{-4} cm/det sampai dengan 9 x 10^{-4} cm/det. Dengan demikian dasar waduk merupakan tanah yang lolos air (permeabel) secara homogen dan saling berhubungan dengan akuifer, sehingga perkolasi pada tanah dasar lebih besar dari perkolasi normal. Dengan luas genangan sebesar 5,6 ha dengan volume tampungan 427.349 m^3, waduk resapan ini dapat memberikan pengisian (recharge) air ke dalam tanah rata-rata 34,36 lt/dt yang berarti dapat memberikan kontribusi terhadap penyediaan air baku bagi

penduduk kota Yogyakarta sebesar 49.479 orang. Kebutuhan air waduk dipenuhi oleh sungai Tambakbayan.

Gambar 27. Waduk resapan Tambakboyo (Hargono, 2011)

3) Broto dan Susanto (2008) melakukan penelitian dengan melalui perancangan model waduk resapan di Kota Bogor menggunakan aplikasi model tangki (tank model) seperti terlihat pada Gambar 28. Kota Bogor merupakan daerah pengisian air tanah dan pensuplai air pada daerah urban, khususnya kota Jakarta yang merupakan wilayah langganan banjir. Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan pencegahan terhadap bahaya banjir yaitu dengan cara membangun waduk resapan guna mengoptimalisasi fungsi akuifer dengan meningkatkan daya serap air pada akuifer sehingga dapat mengurangi limpasan permukaan yang merupakan penyebab utama banjir karena ketidakmampuan sungai untuk menampung air tersebut. Berdasarkan hasil simulasi, jumlah air yang dapat

diresapkan dari waduk resapan ini ke dalam lapisan akuifer mencapai 1.150 m^3/hari.



Gambar 28. Waduk resapan model tangki (Broto dan Susanto, 2008)

BAB VII

PENGGUNAAN KOLOM PASIR PADA WADUK RESAPAN

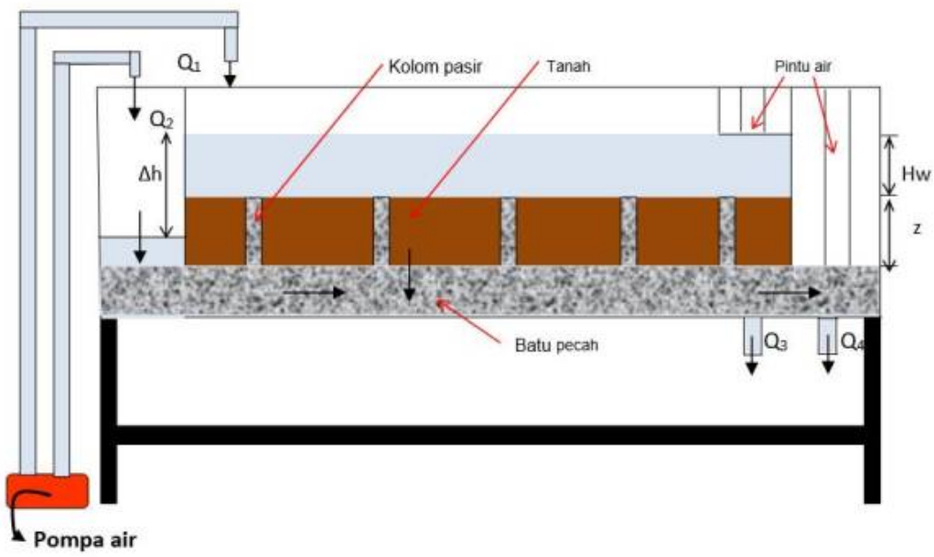
1. Model fisik penggunaan kolom pasir

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 :

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

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

dimana :

$\mathfrak{z}$ = 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

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

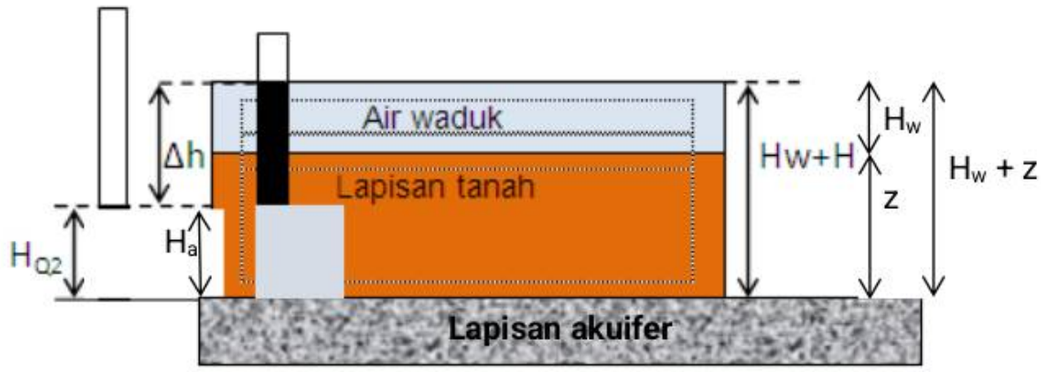
$$Qkp = k_2 . \frac{\Delta h}{z} . \frac{1}{4}\pi . d^2 . N_{kp} \quad \text{.....(27)}$$

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)

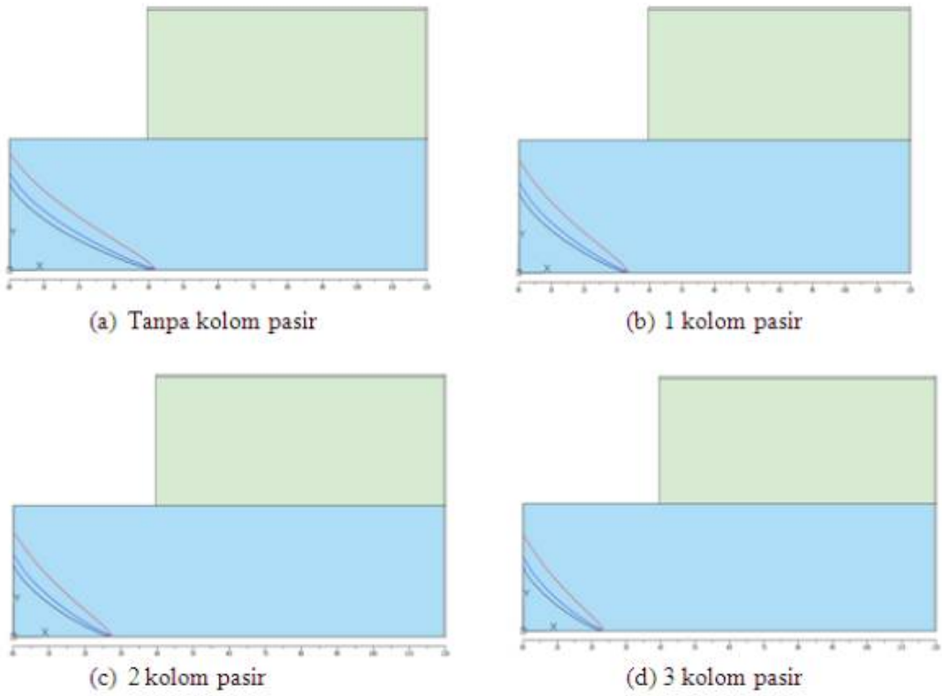
N_{kp} = jumlah kolom pasir

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.

Living Spiritual Quotient

ISBN 978-602-1308-51-6

9 786021 308516

PENGGUNAAN KOLOM PASIR PADA WADUK RESAPAN

ORIGINALITY REPORT

19%	13%	6%	7%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.unibos.ac.id Internet Source	1%
2	Azzahra Nadia Putri, Istiatun Istiatun. "Pengaruh Kedalaman Pemasangan Vertical Drains dengan Pemodelan Tanah di Laboratorium", MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil, 2021 Publication	1%
3	Yayuk Apriyanti, Hidayatussa'diah Hidayatussa'diah, Ferra Fahriani. "PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH ABU CANGKANG SAWIT (POFA) TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) UNTUK STABILISASI TANAH LEMPUNG", FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil), 2021 Publication	1%
4	Ika Puji Hastuty, Roesyanto, M Ridwan Anas, Adi Nasution. "Soil Improvement for clay with limestone and glass slag based on CBR value", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020 Publication	1%
5	tweetyourmind.wordpress.com Internet Source	1%
6	repository.iainpare.ac.id Internet Source	1%
7	Submitted to Universitas Merdeka Malang Student Paper	1%

8	Submitted to Sultan Agung Islamic University Student Paper	1 %
9	kojiridwan.blogspot.com Internet Source	1 %
10	www.pusair-pu.go.id Internet Source	<1 %
11	rujak.org Internet Source	<1 %
12	www.poliupg.ac.id Internet Source	<1 %
13	wwwlilinkecilq.blogspot.com Internet Source	<1 %
14	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
15	www.neliti.com Internet Source	<1 %
16	digilib-ampl.net Internet Source	<1 %
17	adoc.pub Internet Source	<1 %
18	pustakaborneo.org Internet Source	<1 %
19	karyailmiah.unisba.ac.id Internet Source	<1 %
20	ebook.itenas.ac.id Internet Source	<1 %
21	Submitted to Universitas Jember Student Paper	<1 %
22	Submitted to Universitas Samudra Student Paper	<1 %

23	Submitted to Universitas Muhammadiyah Makassar Student Paper	<1 %
24	Submitted to IAIN Bukit Tinggi Student Paper	<1 %
25	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1 %
26	Syamsul Razak Haraty, Dandi Retno, Pou Anda. "Citra penampang tahanan jenis untuk identifikasi zona interfase air laut kawasan pesisir pantai Kelurahan Toronipa, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara", OPHIOLITE : Jurnal Geologi Terapan, 2022 Publication	<1 %
27	123dok.com Internet Source	<1 %
28	Indrayani Indrayani ., Andi Herius, Alfin Ashadiq, Egal Hardewo, Arpan Hasan, Norca Praditya, Darma Prabudi. "PENGARUH PENAMBAHAN SEMEN, ABU SEKAM, DAN SERAT FIBER TERHADAP PENINGKATAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG", FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil), 2022 Publication	<1 %
29	Submitted to Institut Teknologi Sumatera Student Paper	<1 %
30	www.hydro.co.id Internet Source	<1 %
31	geografiunlam.blogspot.com Internet Source	<1 %
32	noviafujalestariwahyani.wordpress.com Internet Source	<1 %
33	idoc.pub Internet Source	<1 %

34	anasyukriyah.blogspot.com Internet Source	<1 %
35	repository.ar-raniry.ac.id Internet Source	<1 %
36	Submitted to Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia Student Paper	<1 %
37	Hendra Cahyadi, Nirwana Puspasari. "Pemanfaatan Garam Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung di Kalimantan Tengah", Media Ilmiah Teknik Sipil, 2017 Publication	<1 %
38	staffnew.uny.ac.id Internet Source	<1 %
39	Submitted to pusbuk-kemendikbud Student Paper	<1 %
40	prabugomong.wordpress.com Internet Source	<1 %
41	Amrizal Amrizal, Indra Fauzi, Fadli Fadli, Samiran Samiran. "PMDB Masyarakat Tanggap Sampah Melalui Teknologi Biopori Di Kota Tebing Tinggi", Jurnal Abdimas BSI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 2021 Publication	<1 %
42	docobook.com Internet Source	<1 %
43	agroekoteknologiminatagronomi.blogspot.com Internet Source	<1 %
44	st290934.sitekno.com Internet Source	<1 %
45	Satrio Satrio, Hendarmawan Hendarmawan, M. Sapari Dwi Hadian, E. Ristin Pujiindiyati. "Karakteristik Air Tanah Dangkal Kota	<1 %

Semarang Pada Musim Penghujan Berdasarkan Pendekatan Isotop Stabil (18O, 2H) dan Kimia Air", Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, 2016
Publication

46	Submitted to UIN Sunan Gunung DJati Bandung Student Paper	<1 %
47	Submitted to Universitas Riau Student Paper	<1 %
48	www.scribd.com Internet Source	<1 %
49	Abdul Ganing, Zrimurti Mappau. Jurnal Kesehatan Manarang, 2019 Publication	<1 %
50	Fitri Jusmi, Kurnia Bakri. "IDENTIFIKASI KEDALAMAN INTRUSI AIR LAUT DI DESA BASSIANG KECAMATAN PONRANG SELATAN KABUPATEN LUWU MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK", Jambura Physics Journal, 2020 Publication	<1 %
51	Hery Kristiyanto, Suryanto Suryanto. "ANALISIS KEBUTUHAN U-DITCH DAN BUIS BETON SEBAGAI SARANA DRAINASE GANG", CivETech, 2021 Publication	<1 %
52	amunir.com Internet Source	<1 %
53	Submitted to Universitas Pendidikan Indonesia Student Paper	<1 %
54	Istianah Setyaningsih, Yenia Endriastuti. "Sosialisasi Penggunaan Lubang Biopori Dalam Rangka Mengurangi Banjir Di SMP	<1 %

Negeri 3 Cikarang Timur", Jurnal Komunitas : Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat, 2020
Publication

55	farhansholahudin.blogspot.com Internet Source	<1 %
56	Fuentes Peña Josue. "Bordos de proteccion", TESIUNAM, 2004 Publication	<1 %
57	Putri Hasanah, Irwan Said. "ANALISIS KUALITAS AIR TANAH DI PETOBO", Media Eksakta, 2020 Publication	<1 %
58	Submitted to Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya Student Paper	<1 %
59	Submitted to Universitas Pelita Harapan Student Paper	<1 %
60	Submitted to Chiang Mai University Student Paper	<1 %
61	iptek.its.ac.id Internet Source	<1 %
62	Nur asifa Harun, Beny Yulianto, Nurhapipa Nurhapipa. "Kondisi Sanitasi Lingkungan Di Kelurahan Meranti Pandak Kecamatan Rumbai Pesisir Kota Pekanbaru Tahun 2020", Media Kesmas (Public Health Media), 2021 Publication	<1 %
63	repository.untar.ac.id Internet Source	<1 %
64	Dino Gunawan Pryambodo, Joko Prihantono. "PENDUGAAN AIR PAYAU DENGAN TOMOGRAFI GEOLISTRIK DI PULAU KARIMUNJAWA JAWA TENGGAH", Jurnal Kelautan Nasional, 2017 Publication	<1 %

65	etalase.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
66	www.arifahwulansari.com Internet Source	<1 %
67	Ervy Afriani Arliska, Pou Anda, Erzam Sahaluddin Hasan. "IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT MENGGUNAKAN METODE VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING DI KECAMATAN SAWA", JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi), 2022 Publication	<1 %
68	caramiaw.com Internet Source	<1 %
69	issuu.com Internet Source	<1 %
70	jurnal.polines.ac.id Internet Source	<1 %
71	pt-banjarmasin.go.id Internet Source	<1 %
72	repository.narotama.ac.id Internet Source	<1 %
73	repository.unipasby.ac.id Internet Source	<1 %
74	www.composterproject.com Internet Source	<1 %
75	Alan Wijaya, Arno Adi Kuntoro, Edy Anto Soentoro Gondodinoto. "Pemodelan Intrusi Air Asin Pada Akuifer Pantai (Studi Kasus: DKI Jakarta)", JURNAL TEKNIK HIDRAULIK, 2019 Publication	<1 %
76	Bayu A. Sadjab, As'ari ., Adey Tanauma. "Pemetaan Akuifer Air Tanah Di Sekitar Candi Prambanan Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta Dengan Menggunakan	<1 %

Metode Geolistrik Tahanan Jenis", Jurnal MIPA, 2012
Publication

77	Moreno Chávez Sebastian. "Propuesta de estructura de pavimento para las calles de la Colonia Benito Juárez, en el Municipio de Tepalcatepec, Michoacán", TESIUNAM, 2017 Publication	<1 %
78	Rawiyah Husnan, Frice Desei. "Meningkatkan Ketersediaan Air Masa Pandemi COVID 19 di Kecamatan Anggrek Gorontalo Utara", Jurnal Sibermas (Sinergi Pemberdayaan Masyarakat), 2021 Publication	<1 %
79	Riskawati Riskawati, Abdullah Abdullah. "Identifikasi Lapisan Akuifer Dengan Metode Geolistrik di Kelurahan Poboya Kota Palu", Gravitasi, 2021 Publication	<1 %
80	Stanov Purnawibowo. "Fragmen Keramik Asing: Jejak Hubungan Dagang di Situs Kotacina", Berkala Arkeologi Sangkhakala, 2018 Publication	<1 %
81	Suwarsito Suwarsito, Al Hikmatul Zahro Kamila, Cahyono Purbomartono. "KAJIAN KESESUAIAN KUALITAS AIRTANAH UNTUK BUDIDAYA IKAN LELE (Clarias gariepinus) DI DESA KARANGSARI KECAMATAN KEMBARAN KABUPATEN BANYUMAS", Sainteks, 2020 Publication	<1 %
82	Waode Marwahi, Muliddin Muliddin, Ali Okto. "Pengaruh intrusi air laut terhadap kualitas air tanah Kelurahan Napabalano Kecamatan Napabalano Kabupaten Muna Provinsi	<1 %

Sulawesi Tenggara", OPHIOLITE : Jurnal Geologi Terapan, 2021
Publication

83	bpsdm.pu.go.id Internet Source	<1 %
84	economy.okezone.com Internet Source	<1 %
85	ejournal-balitbang.kkp.go.id Internet Source	<1 %
86	enyfisika.blogspot.com Internet Source	<1 %
87	eprints.uns.ac.id Internet Source	<1 %
88	eprints.uty.ac.id Internet Source	<1 %
89	kelasabiologysciencecomunity.wordpress.com Internet Source	<1 %
90	media.neliti.com Internet Source	<1 %
91	walhi-sulsel.blogspot.com Internet Source	<1 %
92	www.blhmuaraenim.com Internet Source	<1 %
93	www.imagebali.net Internet Source	<1 %
94	www.mongabay.co.id Internet Source	<1 %
95	www.smkwiworotomo.sch.id Internet Source	<1 %
96	www.traveloka.com Internet Source	<1 %

97	Wawan Setiawan, Abubakar Iskandar, Ginung Pratidina. "PERANAN PEMBINAAN DAN PENGAWASAN PADA PENGUSAHAAN AIR TANAH DI UPT DINAS ESDM PROVINSI JAWA BARAT WILAYAH PELAYANAN I CIANJUR", JURNAL GOVERNANSI, 2018 Publication	<1 %
98	Wulan Seizarwati, Derry Prasetya. "Penentuan Jaringan Sumur Pantau Primer Dengan Metode Inverse Distance Weighting Di Cekungan Air Tanah Jakarta", JURNAL SUMBER DAYA AIR, 2019 Publication	<1 %
99	Ngudi Aji Jaka Yuwana, Nora Herdiana Pandjaitan, Roh Santoso Budi Waspodo. "Prediksi cadangan air tanah berdasarkan hasil pendugaan geolistrik di Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah", JURNAL SUMBER DAYA AIR, 2017 Publication	<1 %

Exclude quotes	Off	Exclude matches	Off
Exclude bibliography	On		