

pelaksana misal juru pintu dan pembantu-pembantunya sering dilakukan. *On the job training* tersebut dapat berisi peningkatan kemampuan membuat laporan eksploitasi, pemeliharaan, serta pemakaian alat ukur yang semestinya disertai dengan buku pegangan sebagai petunjuk bekerja sehari-hari.

Perbaikan pelayanan sistem irigasi yang optimal merupakan persoalan yang kompleks. Salah satu cara pendekatan adalah penyelesaian secara rekursif, penyelesaian secara bertahap dengan referensi hasil penyelesaian tahap sebelumnya.

Daftar Pustaka

- Anonim, 1987, *Laporan Pekerjaan supervisi Pelaksanaan Irigasi Daerah Irigasi CITAGAMPOR*, Fakultas Teknik UGM.
- Anonim, 1983, *Measurement of Liquid Flow in Open Channels*, ISO Standard Handbook 16, Switzerland.
- Anonim, 1986, *Standar Perencanaan Irigasi*, Direktorat Jenderal Pengairan, Jakarta.

TEKNIK KONSERVASI AIR PADA KAWASAN PEMUKIMAN

Oleh :
Sunjoto*)

Intisari

Masalah air secara kualitas maupun kuantitas makin meningkat dewasa ini. Secara kuantitas di musim penghujan air melimpah berlebihan menimbulkan banjir sedang pada musim kemarau kelangkaan air terjadi di daerah rentan air, yang biasanya diikuti dengan masalah kualitasnya. Hasil penelitian Direktorat Bina Program Pengairan Departemen Pekerjaan Umum (1984) menyimpulkan bahwa pada tahun 2000 nanti pulau Jawa dan Madura akan defisit air sebesar 50% bila usaha konservasi air tidak segera dilaksanakan selain pengaturan pola konsumsi air serta pengendalian pertumbuhan penduduk dan usaha penyebaran penduduk secara merata tidak segera dibenahi mulai sekarang. Pada umumnya teknik konservasi air sekaligus sebagai usaha konservasi tanah walau tidak berlaku secara mutlak maka di sini dibahas secara umum teknik konservasi air dan secara khusus untuk kawasan pemukiman.

Pendahuluan

Air merupakan sumber kehidupan semua makhluk hidup di dunia ini hingga kelangkaannya merupakan masalah besar dan memerlukan penyelesaian yang cukup rumit hingga dengan demikian penanganan secara preventif lebih baik daripada secara kuratif karena selain lebih mahal cara kuratif ini seringkali memberikan masalah yang mustahil diselesaikan secara ideal. Maka untuk mencegah kemungkinan terjadinya defisit air pada tahun 2000 nanti (Tabel 1) perlu dilaksanakan usaha pencegahan secara interdisiplin ilmu untuk men-

dapatkan hasil yang optimal. Pada tulisan ini akan dibahas beberapa usaha konservasi air dan secara khusus untuk kawasan pemukiman yang menggunakan sumur resapan sebagai perwujudan dari "Sistem Drainasi Air Hujan Berwawasan Lingkungan" (Sunjoto, 1987; 1988; 1989) yaitu suatu teknik tradisional yang dikembangkan hingga memenuhi syarat teknis serta kaidah ilmiah.

Pada hakekatnya pengembangan ini adalah usaha mendapatkan dimensi optimal dari sumur resapan yaitu dengan metoda tepat serta formulasi akurat dan analisis untuk lingkup regional.

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil FT-UGM, Yogyakarta

Konservasi Air dan Konservasi Tanah

Pada umumnya kedua istilah tersebut terbaurkan karena dalam pelaksanaannya memang selalu bertautan. Namun untuk memperjelas permasalahan perlu kiranya diuraikan terminologi dari kedua istilah tersebut, dan dari keduanya dapat disimpulkan bahwa masing-masing mempunyai fokus tujuan. Hanya perlu diketahui bahwa dalam usaha konservasi air pada umumnya juga merupakan konservasi tanah, begitu pula sebaliknya walau hubungan tersebut tidak bersifat mutlak.

Metoda dan teknik konservasi tanah adalah upaya manusia dalam mempertahankan, meningkatkan dan mengembalikan daya guna lahan sesuai dengan peruntukannya dan dapat dilaksanakan dengan pengendalian erosi antara lain :

- a. Menyerap daya pukul titik air hujan.
- b. Menyerap daya kikis aliran air.
- c. Mengurangi kecepatan dan jumlah aliran air.
- d. Meningkatkan daya tahan tanah terhadap erosi.
- e. Mencegah gerakan tanah masif.

Sedangkan teknik konservasi air pada hakekatnya adalah upaya manusia dalam mempertahankan, meningkatkan dan mengembalikan daya guna air sesuai peruntukannya dan untuknya dapat dicapai dengan :

- a. Memperkecil evapotranspirasi permukaan.
- b. Memperbesar kapasitas infiltrasi.
- c. Menghambat laju kecepatan air.
- d. Menampung air pada akuifer.
- e. Menampung air di permukaan.

Memperkecil Evapotranspirasi

Dalam usaha ini perlu diadakan suatu pilihan yang tepat akan jenis vegetasi serta kerapatannya hingga tidak menyebabkan evapotranspirasi berlebihan, walau diakui bahwa reboisasi maupun penghijauan adalah salah satu cara terbaik dalam usaha konservasi air maupun konservasi tanah.

Memperbesar Kapasitas Infiltrasi

Kapasitas infiltrasi fungsi koefisien permeabilitas tanah di permukaan. Tanah pasir mempunyai kapasitas infiltrasi yang tinggi dan tanah lempung sebaliknya. Tanah pasir selain besar kapasitas infiltrasinya juga besar kapasitas tampungnya atau dengan lain kata sebagai akuifer yang baik.

Tanah permukaan yang sudah terkikis pada umumnya berupa tanah asli dengan kapasitas infiltrasi yang kecil. Untuk mewujudkan usaha ini dengan penutupan vegetasi adalah cara yang tepat karena dengan adanya penutupan vegetasi akan tercipta lapisan humus di bawahnya dan lapisan humus ini sangat porus hingga mempunyai kapasitas infiltrasi besar. Selain keuntungan di atas penutupan vegetasi akan memperkecil *impact drop* dari butir air hujan yang dapat melepas butir tanah dari agregatnya sebelum diangkut aliran air. Hal ini dapat terjadi karena butir air hujan jatuh bebas dari ketinggian yang besar hingga mempunyai kecepatan yang besar pula sedangkan energi yang timbul dari suatu benturan (E) adalah fungsi linear massa (m) dan fungsi kuadrat kecepatan (V) atau dapat ditulis :

$$E = f(m, v^2)$$

Dengan demikian dengan tertahannya butir air hujan oleh rimbunnya daun maka kecepatan akan jauh berkurang dan "impact drop" akan tereduksi pula secara kuadratis. Namun demikian dengan mengumpulnya air pada dedaunan memungkinkan pembentukan butiran yang lebih besar dan peningkatan energi yang timbul karena massa butiran air menjadi lebih besar namun secara keseluruhan tidak akan melebihi reduksinya akibat kecepatan, selain itu dengan adanya penutupan vegetasi, akan menghasilkan seresah yang bertebaran di bawah pepohonan dan seresah ini akan menghalangi benturan secara langsung antara butir air hujan dengan agregat tanah.

Pepohonan selain meningkatkan kapasitas infiltrasi juga memperbesar hujan efektif yaitu jumlah air yang dapat diserap tanah dalam suatu periode hujan. Hal ini dapat terjadi karena selain terciptanya lapisan humus dengan kapasitas infiltrasinya tinggi sehingga mampu menyerap air dengan lebih cepat. Rimbunnya daunpun akan menimbun air hujan dan berfungsi sebagai *retarding basin* dari suatu aliran karena butir-butir air hujan ditahannya yang kemudian sebagian jatuh ke tanah dan sebagian lagi merupakan aliran urut batang hingga dengan demikian akan memberikan kesempatan yang lebih besar untuk meresapkan air hujan ke dalam tanah. Keuntungan lain dari penutupan vegetasi ini adalah dengan adanya pepohonan tersebut akan menyebabkan akar pepohonan berfungsi sebagai penghambat laju aliran air demikian juga sebagai pemerkuat ikatan antar butir tanah dari daya erosi air.

Menghambat Laju Kecepatan Air

Tujuan dari cara ini adalah menghambat laju kecepatan air hingga memberikan kesempatan lebih untuk meresap ke dalam tanah dan dapat dilaksanakan dengan :

1) Pola Penanaman

Dalam teknik konservasi tanah ada empat cara dalam usaha ini adalah *contour cropping*, *multiple cropping*, *crop rotation* dan *strip cropping*. Dari keempatnya cara pertama yaitu *contour cropping* secara langsung sangat efektif dalam menghambat laju kecepatan air yang mana berfungsinya guludan tanaman sejajar garis kontur dalam membendung air permukaan dan akan memberikan kesempatan lebih besar air meresap ke dalam tanah hingga akan memperbesar hujan efektif.

2) Pembuatan Teras

Teras adalah bangunan konservasi air dan tanah yang berbentuk guludan, saluran atau kombinasi keduanya yang dibuat sejajar dengan garis kontur, dan dapat dibagi menjadi :

a) Teras saluran

Teras ini berbentuk saluran dibuat khusus atau sambil mengerjakan lahan pada permukaan tanah yang miring yang pada umumnya dengan lebar dan dalam sekitar 30 cm dengan jarak sekitar 5 — 10 meter, yang seharusnya besaran ini sangat tergantung dari karakteristik hidrologi, sifat tanah serta keadaan vegetasi. Apabila saluran tersebut dimaksudkan permanen maka dinding saluran dapat diperkuat dengan tanaman rumput atau dengan tatanan batu. Aliran permukaan akan tertampung pada saluran demikian juga partikel tanah yang terangkut, sehingga secara periodik saluran perlu dikeruk untuk mengembalikan fungsinya.

b) Teras guludan

Pada dasarnya sama dengan teras saluran dalam hal jarak dan dimensinya hanya konstruksinya bukan berupa saluran tapi sebaliknya berupa gundukan tanah memanjang atau guludan yang dibuat sejajar garis kontur. Guludan ini dapat dibuat dari tanah, batu atau sisa tanaman. Untuk lahan berbatu cara ini lebih baik karena dalam membersihkan bidang tanam dari batu sekaligus batu ditata untuk membuat guludan.

c) Teras kredit

Teras ini disebut kredit karena membuat guludan dipergunakan tanah dari hasil galian saluran di sebelah hulunya, hingga teras ini merupakan gabungan antara teras saluran dengan teras guludan. Dengan gabungan ini akan memperbesar kapasitas air yang tertampung. Ketiga teras tersebut pada umumnya dibuat pada daerah lereng yang tidak terlalu besar.

d) Teras bangku

Teras bangku terdiri dari guludan dan saluran yang letaknya dipisahkan oleh bidang tanam. Dalam pembuatannya hasil galian tanah di bagian hulu ditimbunkan pada bagian hilirnya hingga didapat bidang tanam yang rata yang sebagian terletak pada daerah timbunan dan sebagian lagi pada daerah galian. Pada ujung hilir bidang tanam berupa guludan dan pada ujung hulunya berupa saluran. Bidang tanam ini dibuat sedikit miring ke arah hulu atau mengarah ke saluran hingga ditinjau secara partial arah aliran berlawanan dengan arah kemiringan secara keseluruhan. Teras ini dibuat pada tanah dengan kemiringan besar.

e) Teras datar

Pada dasarnya teras ini sama dengan teras bangku, namun bidang tanam dibuat datar dan pada hulu bidang tanam tidak dilengkapi dengan saluran hingga air ditampung pada seluruh bidang tanam.

3) Bangunan Terjunan

Bangunan ini dibuat pada selokan pembuangan dengan kemiringan besar. Cara ini lebih berfokus pada usaha konservasi tanah karena dengan berkurangnya kecepatan akan berkurang juga kapasitas erosi, begitu pula pengisian bahan endapan pada daerah hulu bangunan akan memperbesar stabilitas lereng selokan (Sunjoto, 1988c). Bangunan ini dapat berupa bangunan permanen dari pasangan batu atau beton namun dapat pula dari bangunan sementara dari patok-patok kayu atau bambu.

Menampung Air pada Akuifer

Cara ini diawali dengan memperbesar kapasitas infiltrasi dan kemudian air ditampung di akuifer. Dengan landasan berfikir bahwa kecepatan air melalui media porus jauh lebih kecil dibanding dengan aliran

permukaan maka makin lama akan terjadi tampungan air di dalam tanah. Untuk mencapai maksud ini selain memperbesar kapasitas infiltrasi perlu dikaji kemampuan tanah sendiri dalam menampung air atau kapasitas tampung akuifernya. Sebagai contoh tanah lempung bukan akuifer yang baik karena koefisien permeabilitasnya kecil walau porositasnya besar. Begitu juga tanah kapur yang pada umumnya secara makro sangat porus hingga air dengan mudah mengalir hilang melalui gua atau sungai dalam tanah yang banyak terdapat di daerah kapur. Sebaliknya pasir merupakan akuifer yang baik di samping juga sebagai filter yang baik pula, sehingga darinya didapatkan air dengan kualitas dan kuantitas tinggi.

Untuk negara maju dalam usaha memperbesar tampungan air tanah ini telah dilaksanakan dengan cara mekanis yaitu dengan cara memompakan air permukaan ke dalam tanah yang sebelumnya telah dijernihkan. Untuk daerah tropis lebih murah dengan cara memasukkan air hujan ke dalam tanah dengan menggunakan sumur resapan (Sunjoto, 1988a, 1988b). Suatu hasil sampingan dari pembangunan daerah irigasi adalah memperbesar pula kesempatan air meresap ke dalam tanah dan sekaligus akan memperbesar evapotranspirasi, namun demikian secara keseluruhan akan masih lebih baik daripada air terbuang percuma mengalir di sungai terus ke laut.

Menampung Air di Permukaan

Cara ini dilaksanakan dengan membendung sungai hingga didapatkan suatu reservoir yang dapat menampung air pada saat banjir di musim penghujan sehingga masih dapat dipergunakan pada musim kemarau. Manfaat dari cara ini pada umumnya berupa bendungan serba guna untuk keperluan irigasi, tenaga listrik, pengendali banjir, perikanan, air minum, pariwisata dan lain-lain.

Kawasan Pemukiman

Secara alami sebelum berubah menjadi pemukiman, kawasan ini dapat meresapkan air ke dalam tanah karena permukaan tanah belum terkonversi menjadi lapisan rapat air yaitu atap bangunan, jalan dan lain-lain. Maka dari itu ditinjau secara regional pada kawasan inilah terjadi ketimpangan imbalanced air. Hal ini dapat dimaklumi karena sampai saat sekarang semua sistem drainasi yang ada di Indonesia adalah penghamburan air atau *pull &*

push (Sunjoto, 1988a, 1988b) yaitu air jatuh di daerah layanan ditarik ke selokan-selokan (jaringan drainasi) dan kemudian didorong secepatnya mengalir ke sungai dan seterusnya ke laut hingga kawasan terbebas dari genangan. Ketidak-seimbangan ini diperburuk dengan pengambilan air secara langsung dari dalam tanah dengan sumur di kawasan tersebut karena cara ini adalah selain murah juga sangat sederhana.

Dari suatu model kota di pulau Jawa setiap orang akan mengkonsumsi air untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari sekitar $73 \text{ m}^3/\text{kpt}/\text{th}$ dan pada periode yang sama dengan sistem drainasi yang ada sekarang akan membuang air hujan sebesar $70 \text{ m}^3/\text{kpt}/\text{th}$ (Sunjoto, 1987b). Melihat ketimpangan tersebut di atas, pantas kiranya perlu segera dicari upaya baru dalam penyelesaian konservasi air dan dari berbagai analisis maka modifikasi sistem drainasi yang ada saat ini adalah cara yang paling murah selain berdampak minimal karena telah terbukti dari penerapannya sebagai teknik tradisional sejak zaman nenek moyang, dan pada kawasan pemukiman sulit bila diterapkan teknik konservasi air secara umum seperti yang telah dijelaskan di depan karena untuknya diperlukan beberapa persyaratan yaitu, aman, indah dan tidak mengganggu.

a) Genangan Terbuka

Cara ini adalah dengan mengalirkan air yang jatuh di atas atau ke sistem jaringan drainasi dan terus ke kolam buatan di kawasan pemukiman tersebut. Dimensi kolam ini tergantung dari karakteristik hidrologi, sifat tanah serta luas perkerasan yang harus dilayani dan besarnya dapat disesuaikan hingga menjadi danau buatan karenanya akan memberi kesempatan lebih untuk air meresap ke dalam tanah. Cara ini cukup efektif dan banyak dilaksanakan di negara maju karena memberikan keuntungan tambahan yaitu sebagai loka wisata penghuni setempat. Namun demikian problema yang mungkin terjadi adalah menimbunnya sampah bila disiplin sosial tidak saling dihormati.

b) Resapan Tertutup

Pada prinsipnya cara ini adalah menampung air yang jatuh di atap pada suatu reservoir tertutup di halaman masing-masing atau secara kolektif untuk memberi kesempatan air meresap ke dalam tanah dengan harapan sebanyak mungkin air hujan diresapkan ke dalam tanah. Sesuai dengan

konstruksinya cara ini ada tiga macam yaitu :

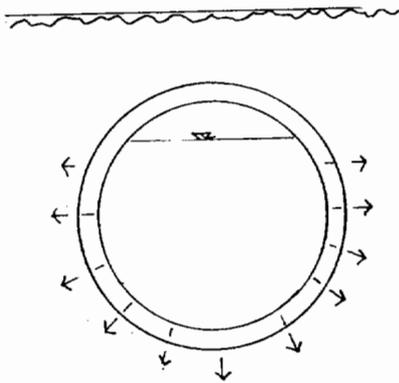
1) Pipa porus

Air hujan dari talang ditampung dalam suatu pipa porus yang ditanam secara horizontal di halaman rumah (gambar 1). Untuk mendapatkan dimensi efektif dapat dihitung dengan formula dasar yang berasas pada suatu keseimbangan :

$$dv = (I - O)dt$$

dimana :

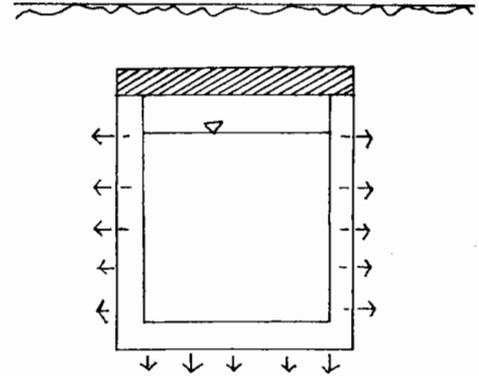
- v : volum tampungan (m³)
- I : debit masuk (m³/s)
- O : debit keluar (m³/s)
- t : waktu (s)



Gambar 1. Pipa Porus

2) Selokan porus

Cara ini sama dengan pada pipa porus hanya bedanya tampang melintang berbentuk empat persegi panjang dengan bidang porus dapat dibuat pada satu sisi bawah saja namun untuk memperbesar debit keluar serta keamanan terhadap kemungkinan penyumbatan lubang pori seyogyanya dibuat untuk ketiga bidang yaitu bawah dan samping kiri dan kanan. Bagian atas ditutup dengan pelat beton kemudian dengan tanah untuk dapat ditanami sebagai taman (Gambar 2). Sebagai dasar perhitungan sama dengan pada formula untuk selokan porus dan debit masuk fungsi karakteristik hidrologi serta luas atap yang dilayani sedangkan debit keluar fungsi sifat tanah yang dihitung dengan hukum Darcy (1856). Kedua cara di atas tepat untuk daerah dengan tinggi muka air tanah dekat dengan permukaan sehingga bila



Gambar 2. Saluran Porus

dilaksanakan dengan sumur resapan menjadi tidak efektif lagi.

3) Sumur resapan

Yang dimaksud dengan sumur resapan adalah sebagaimana layaknya sumur gali namun berfungsi sebaliknya yaitu menampung air hujan yang jatuh di atap untuk memberi kesempatan meresap ke dalam tanah. Sumur ini diperkuat dengan dinding dari buis beton dan ruangan dipersiapkan kosong untuk dapat menampung sebanyak air hingga peresapan menjadi optimal. Pada bagian dasar dilapis batu pecah setebal 30 cm untuk memecah energi air yang jatuh dan pada bagian atas ditutup dengan pelat beton kemudian lapisan tanah untuk dapat dimanfaatkan sebagai taman. Untuk menghitung dimensinya dapat dipergunakan formula dasar keseimbangan sebagai berikut : (Sunjoto dkk., 1987a).

$$dv = (I - O) dt$$

dimana :

- v : volum tampungan (m³)
- I : debit masuk (m³/s)
- O : debit keluar (m³/s)
- t : waktu (s)

Kemudian berdasar formula tersebut diturunkan suatu formula untuk menghitung dimensi sumuran sebagai berikut : (Sunjoto, 1987b)

$$H = e^{(\ln Qi/N - N \cdot A \cdot T)} + Qi/N$$

dimana :

- H : tinggi air dalam sumur (m)
- A : luas tampung sumur (m²)
- T : waktu (s)

Q_i : debit masuk (m^3/s)
 Q_o : debit keluar (meresap) (m^3/s)
 N : Q_o/N (m^2/s)

Kemudian formula tersebut di atas dikembangkan lagi untuk memberikan kemudahan analisis secara matematis sebagai berikut : (Sunjoto, 1988a)

$$H = \frac{Q}{EK} \left(1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}} \right)$$

dimana :

H : tinggi air dalam sumur (m)
 F : faktor geometri (m)
 Q : debit air masuk (m^3/s)
 T : waktu pengaliran (s)
 K : koefisien permeabilitas tanah (m/s)
 R : jari-jari sumuran (m)

Formula ini adalah pada keadaan suatu aliran pada sumur di mana dengan sifat tidak permanen atau *Unsteady radial flow*. Untuk menghitung besar faktor geometrik selain telah dikembangkan oleh beberapa peneliti sejak tahun 30 an, maka telah pula diadakan penelitian (Sunjoto, 1989b) yang secara nilai tidak banyak berubah namun lebih dapat dipertanggungjawabkan secara analisis matematis dan dapat dilihat pada tabel 2.

Metoda perhitungannya dapat dirangkum sebagai berikut : (Patent no. 13114, 20 Oktober 1988)

- 1) Hitung debit masuk fungsi karakteristik hidrologi dan luas atap dengan formula Rational.
- 2) Hitung kedalaman air H dengan formula Sunjoto (1988a)
- 3) Evaluasi jenis fungsi dan pola letak sumur pada jarak saling pengaruh guna menentukan kedalaman terkoreksi dengan *multi well systems*.

Kesimpulan

Dari berbagai uraian di atas dapat diambil kesimpulan :

- a. Pada umumnya teknik konservasi air adalah sekaligus juga merupakan konservasi tanah dan sebaliknya walau tidak bersifat mutlak.
- b. Pada perencanaan suatu pekerjaan dalam bidang keairan perlu dihindari adanya efek yang merugikan lingkungan dan sedapat mungkin

diusahakan mendapatkan manfaat ganda yang menunjang usaha konservasi air.

- c. Pada penerapan teknik konservasi air perlu dipilih suatu cara yang tepat agar hasil optimal dengan efek samping minimal dan secara ekstrim dapat dikatakan bahwa untuk daerah pemukiman tidak dapat menerapkan teknik konservasi air pada umumnya namun lebih menitik-beratkan pada pemanfaatan dan modifikasi sistem drainasi yang berlaku saat ini.
- d. Dari berbagai usaha konservasi air tersebut di atas selain mendapatkan tampungan air sebagai tujuan utama akan didapatkan manfaat lebih antara lain menekan intrusi air laut untuk daerah dekat pantai, mereduksi dimensi jaringan drainasi pada kawasan pemukiman, memperkecil probabilitas banjir untuk daerah hilir, menurunkan konsentrasi pencemaran air tanah, mempertahankan tinggi muka air tanah dan mencegah penurunan kawasan.
- e. Untuk lebih mendaya-gunakan usaha konservasi air perlu dipilih perkerasan yang porus untuk dipasang di halaman maupun jalan-jalan lingkungan.

Daftar Pustaka

- Aravin V.I., and Numerov S.N., 1965, *Theory of fluid flow in underformable porous media*, Trans. from Russian, Jerusalem.
- Dachler, R., 1936, *Grundwasserstromung*, Julius Springer, Wien.
- Darcy, H., 1956, *Histoire des Fontaines Publiques de Dijon*, Paris.
- Dit. Bina Program Pengairan Dept. PU, 1984, *Prasarana Pengairan dan Permukiman di Indonesia di tahun 2000*, Simposium Peningkatan Kerja Menuju Kondisi Lingkungan tahun 2000, PSLH-ITB, Bandung.
- Forcheimer, P., 1930, *Hydraulik*, 3nd ed, B.G. Teubner, Leipzig.
- Harza, L.F., 1935, *Transactions*, ASCE, Vol. 100, pp 1352 — 1385, New York.
- Hvorslev, M.J., 1951, *Time lag and soil permeability in ground water observation*, Bull 36, Nat. Exp. Stu, Vicksburk, Mississipi.

Olson, R.E., Daniel, D.E., 1981, *Soil Science Society of American Proceedings*, Vol. 134, pp 75 — 82.

Samsioe, A.F., 1931, *Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik*, Vol 11 pp 124 — 125.

Sunjoto, Budi Kamulyan, 1987a, *Resapan air hujan sebagai pendukung drainasi kota*, Seminar HATHI, Semarang.

Sunjoto, 1987b, *Sistem drainasi air hujan yang berwawasan lingkungan*, Proc. PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.

Sunjoto, 1988a, *Optimasi sumur resapan air hujan sebagai salah satu usaha pencegahan intrusi air laut*, Proc. PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.

Sunjoto, 1988b, *Perencanaan drainasi bagi perumahan sehat dan berwawasan lingkungan*, Proc. Pemda DIY - REI.UGM, Yogyakarta.

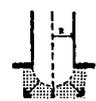
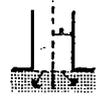
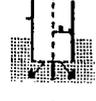
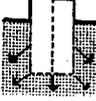
Sunjoto, 1988c, *Bangunan pengambilan air irigasi pada sungai lahar*, Lap. Penelitian PAU-IT UGM, Yogyakarta.

Sunjoto, 1989a, *Manfaat sumur resapan dalam konservasi air dan pencegahan banjir*, Simposium Sewindu UMS, Surakarta.

Sunjoto, 1989b, *Pengembangan model hidraulik aliran bawah permukaan*, Lap. Penelitian PAU Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.

Taylor, D.W., 1984, *Fundamentals of soil Mechanics*, New York.

Tabel 2. Harga faktor geometrik untuk berbagai kasus

Kasus	Kondisi	F	Referensi
1.		$4 \pi R$	Samsioe (1931) Dachler (1936) Aravin dkk. (1965)
2.		$2 \pi R$	Samsioe (1931) Dachler (1936) Aravin dkk. (1965)
3.		$4 R$	Forcheimer (1930) Dachler (1936) Aravin dkk. (1965)
4.		$5.5 R$	Hvorslev (1951) Harza (1935) Taylor (1948)
5.		$\frac{2 \pi L}{\ln(L/R + \sqrt{1 + (L/R)^2})}$	Dachler (1936)
		$\frac{2 \pi(L + 2/3 R)}{\ln(L + 2R)/R + \sqrt{1 + (L/R)^2}}$	Sunjoto (1989b)
6.		$\frac{2 \pi L}{\ln(L/2R + \sqrt{1 + (L/R)^2})}$	Dachler (1936)
		$\frac{2 \pi(L + 2/3 R)}{\ln(L + 2r)/2R + \sqrt{1 + (L/2R)^2}}$	Sunjoto (1989b)

Tabel 1. Perimbangan keadaan air pada tahun 2000

Pulau	Air Tersedia $m^3/kpt/th$	Kebutuhan Air $m^3/kpt/th$	Perbandingan (2) & (1) %
Jawa & Madura	342,2	523,5	153
Sumatera	3.529,5	485,7	13
Kalimantan	18.979,9	333,2	1,8
Sulawesi	3.590,9	738,7	21
Bali	435,3	318,9	73
NTB	503,5	292,8	58
NTT	642,0	292,7	45
Timor-Timur	967,6	292,6	30
Maluku	9.680,0	292,9	3
Irian Jaya	108.670,4	358,2	0,3

Sumber : Dit.Bina Program Pengairan Dept. PU (1984)