

PENGARUH TINGKAT KEVAKUMAN DI DALAM BERBAGAI POROUS MEDIA UNTUK PENDINGINAN

Application of Vacuum in Various Types of Porous Media for Cooling

Hendrik Kini¹⁾, Wardhana²⁾ dan M. Nurhuda²⁾

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Brawijaya, Malang

2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Brawijaya

ABSTRACT

Porous media, solid substances with a number of voids through which fluids may flow, are effective to transfer heat from the medium to fluid. A research was conducted to assess the effect of vacuum in reducing temperature of various types of porous media.

Three different particle types, i.e. Well rounded gravel (smooth surface), $2 < f < 3.6$ mm; Coarse sand, angular surface $3.6 < f < 5$ mm, and Fine sand $f < 2$ mm were packed into a tubular plastic support, respectively, through which water was flown. Each of these was treated with vacuum with P of -5, -52, -55, and -56 cm Hg for the well rounded gravel; with P of -42, and -10 cm Hg for the angular coarse sand and P of -40 cm Hg for the fine sand.

The ability of lowering the temperature of the porous media varied from 5 to 13 centigrade, and the time required were dependant mostly on the types of particles and vacuum levels. The fine sand was unable to reduce the temperature, while the angular coarse sand was able to lower the temperature by less than 5 centigrade. On the other hand, the well rounded gravel particle with smooth surface was able to lower the temperature from 26°C to 13°C. The levels of vacuum which determined the flow rates of the air and water passed to the porous media, however, did not show any significant affect to the reduction of temperature. It was found that the particle arrangement configuration in the support, which mostly affect the total surface area as well as the flow rate of air are likely to be the dominant factors in temperature lowering.

Key words: Porous Media, vacuum, and temperature lowering

PENDAHULUAN

Masalah penipisan dan robeknya lapisan ozon di atmosfer sudah menjadi sorotan. Penyebabnya adalah bahan-bahan kimia "volatile" dari parfum, kosmetik, dan refrigerant seperti Freon 11, 12 dan sebagainya. Para ahli lingkungan hidup mendesak agar penggunaan bahan kimia ini khususnya freon dalam "air conditioning" dan "refrigeration engineering" diganti dengan bahan-bahan ramah ozon dan ramah lingkungan.

Air adalah bahan yang sangat ramah lingkungan dan juga ramah ozon sebagai "the alternative refrigerant" dengan nilai ODP dan GWP yang menunjukkan sifat "natural refrigerant", walaupun sebenarnya air menunjukkan karakteristik yang

menonjol yaitu volumetrik tetapi unggul dalam hal entalpi penguapan.

Penelitian ini dilakukan untuk memperluas mencari alternatif refrigerant dengan ODP (Ozon Depletion Potential) atau GWP (Greenhouse Warming Potential) yang "natural". Dalam penelitian dilakukan percobaan menggunakan porous media kerikil dengan ukuran $2.38 < f < 3.0$ mm pada tekanan rendah beberapa level dengan tujuan untuk meningkatkan laju evaporasi yang dapat menimbulkan efek pendinginan. Penelitian ini merupakan tahap awal untuk usaha merancang suatu sistem yang bisa menurunkan temperatur atau pendinginan menggunakan air sebagai refrigerant dan dengan bantuan porous media pada tekanan rendah yang diharapkan "workable" untuk menurunkan suhu.

Dalam teknik pendinginan, penurunan suhu dapat dilakukan dengan penggabungan beberapa faktor yang mempengaruhi laju evaporasi. Beberapa cara bisa dilakukan untuk meningkatkan laju evaporasi, yaitu pertama dengan menaikkan suhu, kedua memberikan laju aliran udara, ketiga memperluas permukaan kontak diantara cairan dengan udara, dan keempat menurunkan titik didih cairan dengan cara menurunkan tekanan udara sekelilingnya (Althouse *et.al.*, 1992).

Laju aliran udara dapat melakukan beberapa fungsi antara lain, (1) Udara membawa panas masuk ke dalam sistem untuk mengevaporasikan air kemudian dengan segera mengeluarkannya dari sistem (sistem pengeringan); (2) Udara digunakan juga untuk membawa air masuk ke dalam sistem untuk tujuan pembasahan kembali porous media; dan (3) Udara digunakan untuk membawa panas keluar dari sistem, dengan demikian memberikan efek pendinginan (Day, 2002).

Masalah utama yang berkaitan dengan porous media adalah *pressure drop*, yaitu adanya resistensi terhadap aliran udara sehingga terjadi penurunan daya paksa aliran udara karena adanya friksi dan turbulensi. Resistensi ini diatasi dengan memasang pompa vakum pada sisi udara keluar dan tekanan vakum sendiri berfungsi untuk menurunkan titik didih air. Sedangkan faktor dominan yang sangat mempengaruhi *pressure drop* dalam porous media adalah porositas media. Oleh karena itu masalah ilmiah dalam penelitian ini yaitu (1) Bagaimana pengaruh porositas terhadap penurunan temperatur porous media, dan (2) Bagaimana pengaruh tingkat kevakuman terhadap temperatur porous media.

Tujuan penelitian ini yaitu, (1) Mempelajari faktor dominan porous media terhadap laju penurunan temperatur porous media, (2) Menganalisis performansi porous media untuk sistem pendinginan.

Manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah bisa digunakan sebagai tahap awal untuk merancang sistem pendinginan dengan porous media untuk berbagai keperluan dan bisa juga digunakan

untuk rancangan evaporator untuk berbagai keperluan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

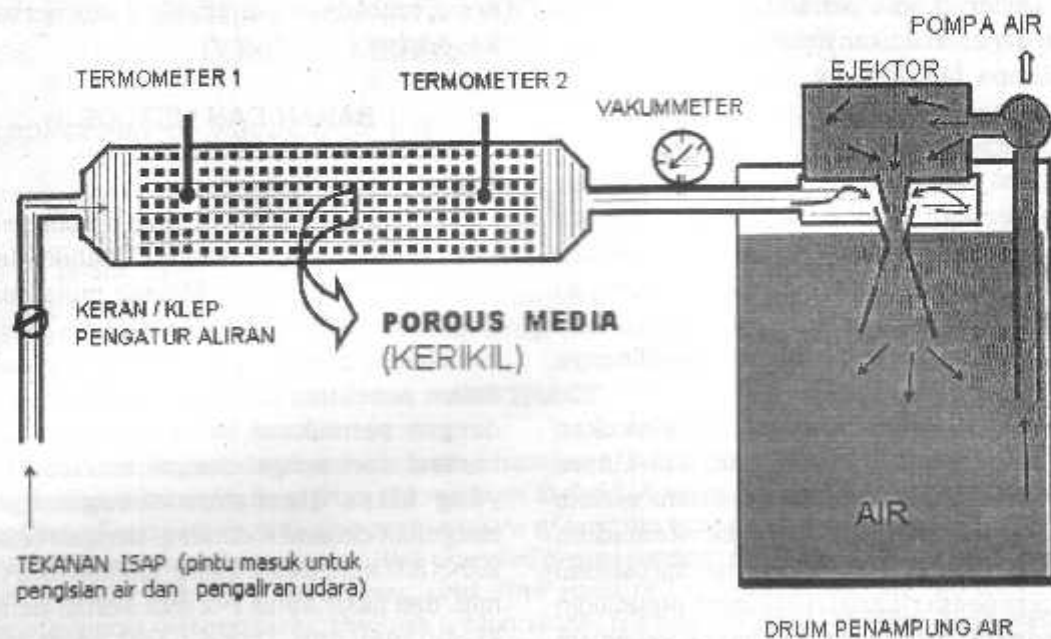
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi, Fakultas Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang mulai bulan Desember 2004 sampai selesai.

Bahan porous media yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerikil (gravel) dengan permukaan halus berwarna hijau berasal dari sungai-sungai di Pulau Bali, yang biasa digunakan sebagai bahan bangunan ornamen dinding, dengan ukuran $2.0 << 3.6$ mm, pasir kasar angular $3.6 < f < 5$ mm, dan pasir halus $f < 2$ mm sesuai dengan klasifikasi dari Das (2002). Alat yang digunakan yaitu pipa PVC 3" dan 1" sebagai tempat porous media dan saluran air, udara dan vakum, serta air sebanyak 1 drum sebagai fluida penggerak. Selain itu juga pompa air 300 liter per menit, manometer Bourdon, vakummeter, dan termometer bola kering. Skema peralatan sistem pengukuran temperatur porous media pada tekanan rendah seperti pada Gambar 1.

Metode Penelitian

Kerikil dibersihkan dengan air bersih sehingga benda-benda yang halus disingkirkan karena bisa meningkatkan nilai *pressure drop*. Bahan porous media kemudian dimasukkan ke dalam tabung yang dibuat dari pipa paralon dengan ukuran diameter 3" dan panjang pipa 50 cm. Kedua ujung pipa ditutup dengan kawat kassa agar bahan porous media yang sudah masuk ke dalam pipa tidak berhamburan keluar. Pada dinding pipa dibuat 2 buah lubang untuk tempat masuk termometer stik yang dapat masuk sampai di tengah-tengah porous media yang akan diukur, Gambar 1.

Pada kedua sisi lubang pipa dipasang penyambung ke pipa yang lebih kecil diameternya. Sisi yang pertama untuk saluran fluida masuk dan yang lainnya untuk saluran menuju ke pompa vakum, dengan ukuran diameter 1". Pompa vakum yang digunakan adalah dengan sistem ejector air



Gambar 1. Skema peralatan sistem pengukuran temperatur porous media pada tekanan rendah

(*water ejector*) sebanyak 4 buah dan digerakkan dengan pompa air dengan kapasitas debit 300 liter per menit. Air yang digunakan ditampung dalam sebuah drum sehingga cukup banyak untuk siklus air penggerak pompa vakum sistem ejector tersebut. Diantara pipa yang berisi porous media dan pompa vakum dipasang vakummeter untuk menentukan tingkat kevakuman yang diinginkan. Pada pipa saluran masuk dipasang keran pengatur aliran untuk memasukkan air dan pengaliran udara.

Cara kerja sistem pengukuran temperatur porous media dimulai dari pompa air yang mendesak air memasuki tabung nosel yang menimbulkan terjadinya tekanan tinggi. Dengan tekanan tinggi ini air terdesak menuju nosel lalu diseprotkan oleh nosel ke diffuser dengan kecepatan tinggi sehingga menimbulkan efek pengisapan dengan daya tarik yang cukup besar yang dapat memvakumkan ruang yang tertutup. Daya isap dapat dimanfaatkan untuk memompa air masuk ke dalam porous media dan dapat mengalirkan udara masuk ke dalam porous media. Air yang digunakan untuk membasahi porous media dimasukkan dalam ember kemudian di-etakkan pada pintu atau lubang isap, dengan menghidupkan pompa air maka ejektor menjalankan tugasnya sebagai

pompa vakum untuk mengisap air.

Setelah porous media jenuh maka keran ditutup dan dibuka dengan bukaan yang sangat kecil sedemikian rupa sehingga jumlah aliran udara yang masuk tidak mengganggu kestabilan vakum. Tingkat kevakuman dapat diatur dengan mengatur besarnya lubang pintu masuknya udara ini. Setelah itu dilakukan pengamatan terjadinya perubahan temperatur dan pencatatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Percobaan

Percobaan dalam penelitian ini menggunakan tiga jenis partikel bahan porous media yaitu: Kerikil hijau (Bali) round smooth $2 < f < 3.6$ mm, Pasir kasar (*coarse sand*) angular $3.6 < f < 5$ mm, Pasir halus (*fine sand*) $f < 2$ mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga jenis porous media ini dalam kondisi vakum memberikan pengaruh yang berbeda terhadap penurunan temperatur. Satu jenis porous media yang sama tidak juga menunjukkan pola penurunan temperatur yang sama untuk tekanan vakum yang sama. Vakum tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pola penurunan temperatur di setiap titik dalam porous media. Diduga bahwa campuran udara dan air yang memberikan pengaruh

sangat besar untuk proses penurunan temperatur secara cepat dan jelas.

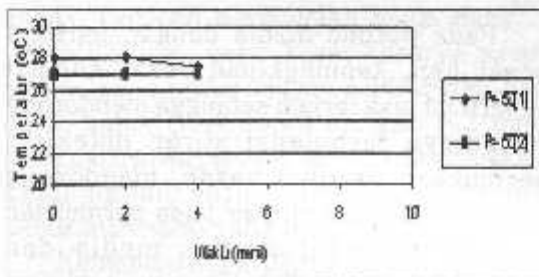
Data hasil penelitian (Tabel 1)

menggambarkan hal tersebut, dan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 2 sampai Gambar 8 untuk porous

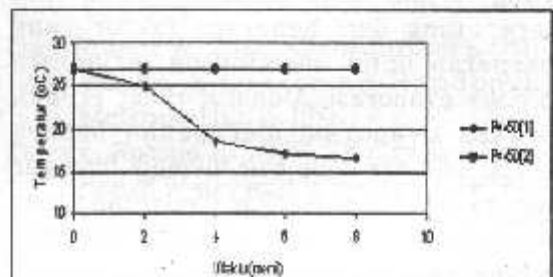
Tabel 1. Data hasil pengukuran temperatur dalam porous media tiga jenis partikel penyusunnya

Menit: Vakum - (P) cm Hg	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Temperatur (°C)											
Partikel Kerikil $2 < \phi < 3.6$ mm											
50(1)	28.0	28.0	27.5	-	-	-	-	-	-	-	-
50(2)	27.0	27.0	27.0	-	-	-	-	-	-	-	-
50(1)	27.0	24.0	23.0	19.0	-	-	-	-	-	-	-
50(2)	27.0	27.0	27.0	27.0	-	-	-	-	-	-	-
50(1)	27.0	25.0	18.5	17.0	16.5	-	-	-	-	-	-
50(2)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	-	-	-	-	-	-
50(1)	28.0	24.5	22.0	21.0	22.0	23.5	25.0	-	-	-	-
50(2)	28.0	27.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	-	-	-	-
52(1)	27.0	25.5	26.5	26.5	-	-	-	-	-	-	-
52(2)	27.0	26.5	26.5	26.0	-	-	-	-	-	-	-
52(1)	26.0	25.5	23.5	22.0	20.5	20.0	18.0	15.0	15.0	14.0	13.0
52(2)	27.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
55(1)	26.5	25.0	23.0	20.0	19.0	19.0	19.5	-	-	-	-
55(2)	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	-	-	-	-
56(1)	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	-	-	-
56(2)	26.0	25.5	24.5	24.0	23.5	23.0	23.0	22.5	-	-	-
Partikel Pasir Kasar (Coarse Sand) $3.6 < \phi < 5.0$ mm											
42(1)	27.0	26.5	26.5	26.5	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
10(1)	27.0	27.0	26.5	26.0	25.0	25.0	24.5	24.0	24.0	24.0	24.0
Partikel Pasir Halus (Fine Sand) $\phi < 2.0$ mm											
40(1)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0

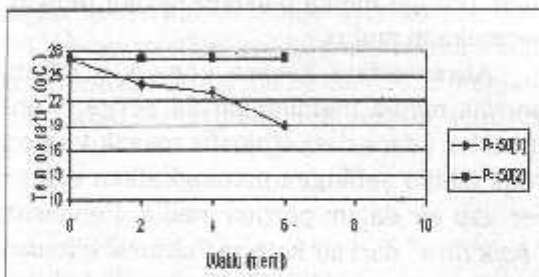
Ket: (1), (2) : titik pengukuran pada thermometer no.1 dan thermometer no.2



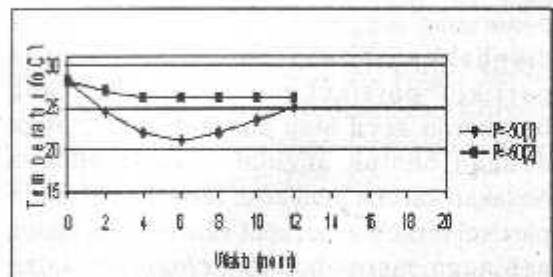
Gambar 2. Temperatur porous Media kerikil (1)



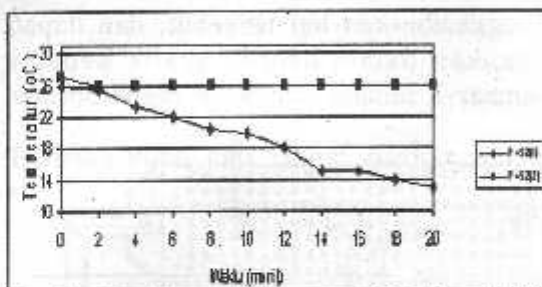
Gambar 4. Temperatur porous Media kerikil (3)



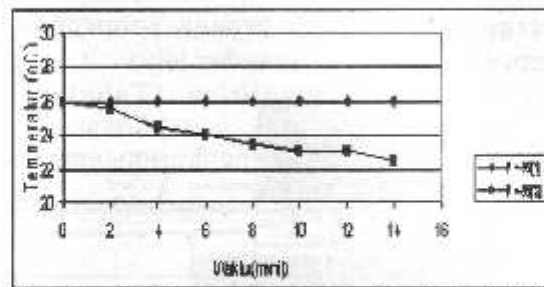
Gambar 3. Temperatur porous Media kerikil (2)



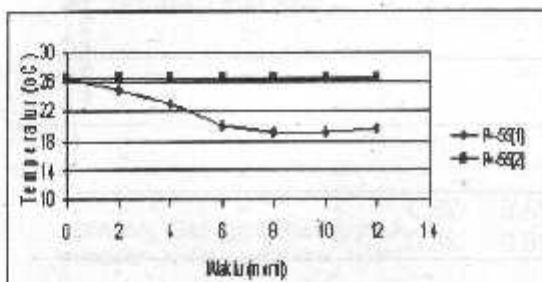
Gambar 5. Temperatur porous Media kerikil (4)



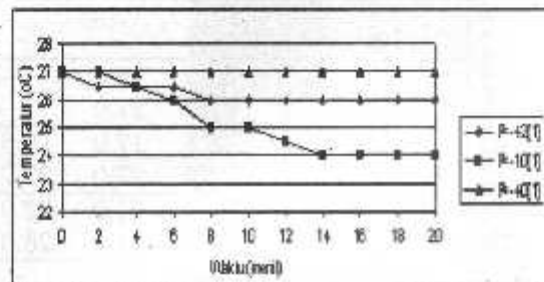
Gambar 6. Temperatur porous Media kerikil (5)



Gambar 8. Temperatur porous Media kerikil (7)



Gambar 7. Temperatur porous Media kerikil (6)



Gambar 9. Temperatur porous Media pasir halus dan kasar

media kerikil. Sedangkan distribusi temperatur untuk porous media partikel pasir kasar dengan permukaan angular dan porous media dengan partikel halus bulat disajikan dalam Gambar 9.

Porous media dan penurunan temperatur

Dari data hasil percobaan menunjukkan bahwa penurunan temperatur tidak merata di setiap titik di dalam porous media, hal ini menunjukkan bahwa proses pindah panas yang terjadi tidak sama di setiap titik tergantung dari beberapa faktor yang berperan untuk mendorong terjadinya proses evaporasi. Menurut Billet (1989), proses evaporasi merupakan proses perubahan dari fase cair menjadi fase gas dan dalam proses ini akan menyerap panas laten dari cairan (air) sehingga akan terjadi hilang panas dan temperatur di sekitar tempat tersebut turun.

Pada lokasi dimana tidak terjadi penurunan temperatur bisa diduga karena disebabkan adanya pengaruh bentuk partikel-partikel porous media yang berukuran kecil atau partikel besar tetapi dengan bentuk angular dengan adanya desakar karena pengaruh tekanan partikel-partikel tersebut merapat satu dengan lainnya sehingga menyebabkan *clogging*. Jalan buntu bagi aliran baik air maupun udara

tidak akan mendorong proses evaporasi.

Hal lain yang dapat menimbulkan kemacetan aliran udara atau air adalah terjadinya "*air trapping*" terperangkapnya gelembung udara diantara banyak air dalam saluran pori. Pada titik pengukuran dimana terjadi penurunan temperatur yang signifikan dan cepat diduga karena terjadi aliran udara yang cukup lancar dan dengan pori yang optimal sehingga sangat mendorong air mulus berubah menjadi fase gas.

Pada porous media dengan partikel besar dan, kemungkinan besar kondisi seperti ini bisa terjadi sehingga mendorong terjadinya turbulensi aliran disekitar permukaan partikel basah, mendorong evaporasi lapisan film air pada permukaan partikel-partikel porous media dan mengambil panas di sekitarnya sehingga temperatur cepat turun, hal yang terjadi pada porous media partikel kerikil dengan permukaan mulus.

Aliran udara secara konvektif dalam porous media mempengaruhi pergerakan/transfer udara dari atmosfer masuk ke porous media sehingga meningkatkan transfer uap air dalam porous media. Pengaruh "*bulk flow*" dari air karena fluktuasi tekanan dalam porous media tidak boleh diabaikan,

mungkin diharapkan kalau banyak air yang masuk akan banyak air yang berevaporasikan dan diharapkan cepat menurunkan temperatur, tetapi yang terjadi adalah udara yang terperangkap semakin banyak.

Vakum dan Penurunan Temperatur

Dalam teori, vakum atau tekanan rendah akan menurunkan titik didih sehingga dengan demikian vakum akan mempercepat perubahan fase cair menjadi gas, semakin besar kevakuman akan semakin cepat perubahan fase tersebut, dan semakin banyak panas yang ditranfer dan penurunan temperatur semakin besar (Signh and Hagr, 1996). Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa pengaruh vakum di dalam porous media tidak menunjukkan bahwa semakin besar kevakuman akan semakin cepat terjadinya penurunan temperatur. Gambar 9, menunjukkan bahwa tekanan vakum $P = -42$ cm Hg mengalami distribusi temperatur yang lebih tinggi dari pada tekanan vakum $P = -10$ cm Hg, seharusnya temperatur pada -42 cm Hg lebih rendah dari pada tekanan -10 cm Hg.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari ketiga jenis partikel porous media yaitu kerikil (*gravel*) permukaan halus dengan $2.0 < f < 3.6$ mm, pasir kasar (*coarse sand*) permukaan angular dengan $3.6 < f < 5$ mm, dan pasir halus (*fine sand*) dengan $f < 2$ mm, dijumpai bahwa partikel kerikil menunjukkan kemampuan untuk membantu proses penurunan suhu yang lebih baik.

Kemampuan partikel pasir halus untuk menurunkan temperatur sangat kecil bahkan nol, sedangkan partikel pasir kasar angular dapat menurunkan temperatur kurang dari 5°C , tetapi partikel kerikil dapat menurunkan temperatur porous media dari 26°C menjadi 13°C atau menurunkan temperatur sebesar 13°C .

Kemampuan porous media kerikil diharapkan masih dapat menurunkan temperatur sampai dibawah 13°C jika pengaturan partikel optimal, karena temperatur terendah yang bisa dicapai menggunakan air sebagai *refrigerant* adalah 7°C .

Dapat disarankan bahwa, untuk meningkatkan kemampuan penurunan temperatur porous media secara cepat dan jelas, perlu diteliti lebih lanjut secara cermat pengaturan rasio udara dan air melalui porous media, dengan pengaturan atau pemilihan porous media dimana partikel-partikel penyusunnya optimal untuk aliran air dan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Althouse, Andrew D. Carl H. Turnquist. Alfred F. Bracciano, B.S. 1992. Modern Refrigeration and Air Conditioning. The Goodheart-Willcox Company, Inc. South Holland, Illinois. h.294
- Billet, Reinhard. 1989. Evaporation Technology. Principles, Application, Economics. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Federal Republic of Germany). h.91-92
- Das, Braja M. 2002. Advanced Soil Mechanics. 2nd Edition. Spon Press. h. 141-230.
- Day, Robert W. 2002. Geotechnical Earthquake Engineering Handbook. McGraw-Hill. h.179.
- Droste, Ronald L. 1997. Theory and Practice of Water and Waste Water Treatment. John Wiley & Sons, Inc. New York - Singapore. h. 735-738
- Finkl, Charles W, Jnr. 1984. The Encyclopedia of Applied Geology. Van Nostrand Reinhold Company. New York. Melbourne. h. 281
- Signh, Vijay P. dan Willi H. Hagr. 1996. Environmental Hydraulics. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht. Boston. London. h 235-239.