

PENETAPAN AMBANG BATAS PENGELOLAAN SUMBERDAYA AIR BERKELANJUTAN

Mamok Suprpto

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A, Solo
Email: mamokuns@gmail.com

ABSTRAK

Pengelolaan Sumberdaya Air (PSDA), khususnya pada daerah irigasi (DI) teknis, didasarkan pada debit andalan dengan faktor-K sebagai tolok ukur keberhasilannya. Akan tetapi, dengan adanya perubahan iklim (*climate change*) yang mulai dirasakan dampaknya dalam dekade terakhir ini, banyak DI sering mengalami kekeringan dan gagal panen. Fenomena ini menarik untuk dikaji agar konsep PSDA berkelanjutan dapat tercapai. Keraguan terhadap efektivitas penggunaan faktor-K sebagai tolok ukur dalam PSDA, memberikan inspirasi perlunya kajian terhadap pemakaian ambang batas PSDA. Penelitian ini menggunakan indeks keandalan (*reliability*) dan indeks kelentingan (*resiliency*) sebagai ambang batas dalam pengelolaan DI Notog, DAS Pemali. Indeks keandalan dalam hal ini hampir menyerupai faktor-K. Indeks kelentingan menggambarkan kecepatan kembalinya sumberdaya air (SDA) dari kondisi kurang memuaskan untuk kembali pada kondisi yang memuaskan. Terdapatnya sifat alami aliran dan kebiasaan para petani penggarap yang tidak dapat disamakan untuk semua DI, sebagai isyarat bahwa tiap DI seharusnya memiliki ambang batas berbeda. Sebagai langkah awal dalam penelitian, khusus untuk DI Notog, ditetapkan indeks keandalan ≥ 0.75 dan indeks kelentingan ≥ 0.5 . Berdasarkan pola tata tanam yang ada dan skenario pola tata tanam, maka dapat diketahui kedua nilai indeks tersebut. Analisis dilakukan terhadap kebutuhan air dan ketersediaan air harian. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai indeks keandalan ≥ 0.75 dapat dicapai secara mudah, tetapi nilai indeks kelentingan ≥ 0.5 sulit dicapai. Keadaan ini selaras dengan fenomena kekeringan yang sering dialami oleh DI Notog. Dengan demikian, hasil penelitian membuktikan bahwa pengelolaan DI yang didasarkan pada ambang batas faktor-K semata, tidak dapat menjamin hasil panen yang baik. Masih diperlukan adanya tambahan ambang batas dalam PSDA agar keamanan hasil panen dan keberlanjutan SDA dapat lebih terjamin.

Kata kunci: faktor-K, indeks keandalan, indeks kelentingan, berkelanjutan.

1. PENDAHULUAN

Air sungai telah banyak digunakan untuk memenuhi beragam kebutuhan. Penggunaan air telah diatur oleh pemerintah melalui UU No.7/2004 tentang Sumber Daya Air, agar pendayagunaan sumberdaya air (SDA) dapat bermanfaat optimal, senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, baik sekarang maupun untuk masa yang akan datang (Direktorat Pengairan dan Irigasi, 2004). Akan tetapi, daya tampung air daerah aliran sungai (DAS) saat ini sudah mengalami kerusakan yang cukup parah (Pusposutardjo, 1997). Kecenderungan kekurangan air terjadi hampir di setiap daerah irigasi sesaat menjelang musim penghujan berhenti dan fenomena aliran sungai dengan fluktuasi debit yang semakin besar, merupakan suatu indikator kurang baiknya keadaan DAS. Terjadinya perubahan iklim berpengaruh terhadap total debit tahunan sungai yang menunjukkan kecenderungan turun, meskipun belum begitu signifikan (McCartney dkk., 2007). Dengan adanya perubahan aliran permukaan, perlu adanya perubahan operasional pengelolaan SDA. Bila tidak, maka akan menentang sistem dan mungkin mengurangi tingkat keandalan dalam memenuhi kebutuhan (Dracup dan dan Vicuna, 2006).

Debit air sungai yang dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan, di suatu titik pengambilan, besarnya sudah tidak memenuhi kaidah keberlanjutan (Zalewski, 2002). Pengelolaan SDA menghadapi kendala yakni sulitnya memelihara aras (*level*) muka air yang dapat memuaskan beragam kebutuhan (Gourbesville, 1997). Oleh sebab itu, perlu jaminan penyediaan air dan pengaturan pembagian air di saat air yang tersedia kecil (Mengistie, 1997) bahwa Kesulitan tersebut diantisipasi oleh petani dengan kecenderungan untuk menimbun air di petak lahan, karena sistem

irigasi tidak dapat menjamin kepastian perolehan air (Pusposutardjo, 2001). Maka dari itu, pengelolaan SDA dan alokasi air perlu dikendalikan secara optimal sehingga berdayaguna dan berhasil guna. Essafi (1997) menunjukkan kendali optimal dalam bentuk optimasi alokasi air yang disebabkan oleh fluktuasi hujan. Masalah alokasi air ditunjukkan oleh Hashimoto dkk. (1982), Duckstein dan Plate (1987), Ng (1988), dan Loucks (1997) yang menyatakan bahwa aliran yang dimanfaatkan harus mengikuti kendali ketersediaan air, dengan besaran resiko tertentu. Hasil pengendalian air merupakan batas antara aliran yang sudah dan yang belum dimanfaatkan. Aliran yang belum dimanfaatkan, merupakan potensi aliran pada tahapan kebutuhan berikutnya.

Kendali pengelolaan daerah irigasi (DI) yang diterapkan saat ini adalah dengan memantau nilai perbandingan antara kebutuhan dan pasokan air, dalam bentuk faktor K . Dalam kenyataannya, faktor K saja tidak cukup mampu untuk memelihara keberadaan serta keberlanjutan SDA. Oleh karena itu, perlu ada upaya lain agar pemanfaatan air dapat memberikan jaminan keamanan produksi (panen) dan fungsi fasilitas air. Dalam penelitian ini, upaya tersebut dijabarkan dalam bentuk pembatas operasi dalam pengelolaan SDA, yakni indeks keandalan (*reliability*) dan indeks kelentingan (*resiliency*) yang dinyatakan dalam nilai tertentu.

2. MATERI DAN METODE

2.1. Obyek Penelitian

Penelitian dilakukan di daerah irigasi Notog seluas 28,310 ha dengan saluran induk sepanjang 5,70 km. DI Notog terletak dalam DAS Pemali, Brebes, Jawa Tengah, dengan luas DAS sekitar 579 km² yang terbagi dalam 11 (sebelas) Sub DAS.

2.2. Perubahan Iklim

Sistem fisik dan biologi di semua kepulauan dan kebanyakan samudera terpengaruh oleh adanya perubahan iklim, khususnya kenaikan suhu regional (Rosenzweig dan Casassa, 2009). Perubahan ini berpengaruh terhadap pola hujan dalam skala volume, waktu, dan ruang, yang pada akhirnya berdampak terhadap aliran sungai. Banyak daerah yang sebelumnya tidak pernah terkena banjir, dalam kurun waktu terakhir sering dilanda banjir. Begitu halnya dengan fenomena kekeringan. Hujan yang terjadi di awal musim penghujan lebih banyak dan puncak aliran permukaan terjadi di awal musim hujan secara signifikan (Stacey, 2009). Perubahan aliran sungai akibat perubahan iklim sangat berpengaruh terhadap infrastruktur keairan dalam beragam fungsi (Dracup dan Vicuna, 2006). Keadaan ini dapat mempersulit pengisian waduk dan pada saatnya akan mengurangi jumlah pasokan air yang dapat diberikan (Roos, 2003). Adanya pernyataan tersebut merupakan peringatan dini agar pengelolaan SDA dilakukan sedemikian rupa, agar kebutuhan air dapat terpenuhi sepanjang waktu dan sumber air tetap lestari.

2.2. Kebutuhan Air

Durand (2003) menyatakan bahwa kebutuhan air bagi tanaman di masa mendatang tidak hanya dipengaruhi oleh perubahan iklim saja, melainkan juga oleh perubahan aliran sungai dan ketersediaan air pada suatu DAS. Lahan pertanian beririgasi memerlukan air untuk pengolahan lahan dan untuk menggantikan air yang hilang. Kebutuhan air irigasi, di petak sawah dan di sumbernya, dipengaruhi oleh cara pemberian air dan kondisi jaringan saluran irigasi. Ditjen Sumberdaya Air (2005) memberikan perkiraan jumlah air pengolahan lahan sebesar 12.7 mm/hari/ha selama 20 hari. Mengingat interval waktu irigasi yang digunakan dalam kajian ini adalah 7 (tujuh) hari, maka tinggi genangan air untuk pengolahan lahan adalah 12.5 mm/hari/ha selama 15 hari. Kebutuhan air untuk irigasi menggunakan satuan waktu hari untuk memaksimalkan manfaat data yang ada.

Kebutuhan air untuk irigasi dipengaruhi oleh variasi cuaca harian, jenis tanaman, tahapan tumbuh tanaman, dan sistem pemberian air bagi tanaman. Secara umum, perhitungan kebutuhan air untuk irigasi terdiri dari 3 (tiga) tahapan utama, yakni perhitungan evapotranspirasi potensial (ET_o), perhitungan evapotranspirasi tanaman (ET_c), dan perhitungan kebutuhan air irigasi, baik di petak sawah maupun di sumbernya. Besarnya ET_o ditentukan oleh variasi keadaan cuaca, dan nilai ET_c dipengaruhi oleh jenis dan tahapan tumbuh tanaman, kejadian hujan, dan periode pemberian air irigasi. Memperhatikan adanya kejadian perubahan iklim, diperkirakan ada perbedaan kebutuhan air bagi tanaman saat perencanaan dan kebutuhan saat ini. Oleh sebab itu, kebutuhan air bagi tanaman dihitung ulang dengan data iklim terkini. Perhitungan evapotranspirasi potensial (ET_o) dan evapotranspirasi tanaman mengikuti rekomendasi FAO terakhir yaitu menggunakan metode Peman-Monteith, yang diuraikan secara rinci oleh Allen dkk. (1998). Data iklim diperoleh dari stasiun klimatologi Tegal (LS-6°51' dan BT-109°09'), yang tercatat dengan baik dari tahun 1993 hingga tahun 2003.

Untuk menghitung ET_c perlu dipersiapkan skenario rancangan pola tata tanam dengan asumsi sebagai berikut:

- 1) Pola tata tanam monokultur yaitu padi-padi-kedelai.
- 2) Umur tanaman padi 110 hari dan umur tanaman kedelai 80 hari.
- 3) Waktu antar musim tanam (MT) adalah 15 hari. MT-1 dimulai tanggal 1-September.

- 4) Awal tanam digeser-geser untuk mendapatkan variasi kebutuhan air. Pergeseran waktu antar skenario adalah 7-8 hari.
- 5) Data hujan yang dipakai dalam analisis ET_c berasal dari stasiun pencatat hujan Margasari.
- 6) Daerah irigasi terbagi menjadi 4 golongan. Golongan-1 dengan luas 10.800 ha, golongan-2 dengan luas 8100 ha, golongan-3 dengan luas 5510 ha, dan golongan-3 dengan luas 3900 ha.
- 7) Selisih waktu pemberian air antara golongan satu dan golongan lain adalah 7 hari. Tinggi genangan 40 mm untuk padi dan nol mm untuk palawija.
- 8) Efisiensi irigasi sebesar 0,59.
- 9) Air genangan pengolahan tanah setinggi 12,5 mm/hari/ha selama 15 hari.

Analisis optimasi dilakukan guna memperoleh rancangan pengelolaan air berkelanjutan, dengan asumsi:

- 1) Pasok air berasal dari aliran sungai Pemali yang tercatat di AWLR Notog (LS- 07° 06'16" dan BT-108°58'57").
- 2) Harus ada aliran untuk pemeliharaan morfologi sungai, dalam hal ini ditetapkan minimal 1,0 m³/dt.
- 3) Kebutuhan air untuk irigasi, air minum, dan air industri diharapkan terpenuhi dari aliran sungai Pemali.
- 4) Dalam pemenuhan seluruh kebutuhan air tidak memperhitungkan *return flow*.
- 5) Sistem pemenuhan kebutuhan air untuk seluruh kegiatan yang telah disebutkan harus memiliki nilai $I_a > 0,75$, nilai $I_k > 0,5$, dan nilai $I_v < 0,25$.
- 6) Bila ketiga nilai indeks tersebut tidak terpenuhi, maka merupakan suatu indikasi bahwa pasok air dari sungai tidak mampu memenuhi kebutuhan, atau dapat dikatakan pengelolaan air tidak memenuhi kaidah keberlanjutan

2.4. Kontrol Optimal Pemanfaatan Air

Kontrol optimal pemanfaatan air didasarkan pada dua jenis deret data, yakni deret data ketersediaan air dan deret data kebutuhan air. Ketersediaan dikurangi kebutuhan menghasilkan deret residu. Deret residu positif selanjutnya disebut deret kejadian andal, sebaliknya deret kejadian tidak andal. Kedua kejadian tersebut merupakan dasar dalam perhitungan indeks keandalan dan indeks kelentingan seperti yang dimaksud oleh Duckstein dan Plate (1987) sebagai berikut:

$$I_a = \frac{F_a}{N_k} \quad (1)$$

$$I_k = \frac{J_k}{N_k - F_a} \quad (2)$$

dengan: I_a =indeks keandalan, I_k =indeks kelentingan, I_v =indeks kerawanan, F_a =jumlah kejadian yang dapat diandalkan, J_k =jumlah kelompok kejadian yang tidak dapat diandalkan, N_k =total kejadian, dalam hal ini mewakili periode waktu

Pers. (1) dan Pers. (2) masing-masing memiliki peubah yang sama yaitu F_a dan N_k . Selanjutnya Mamok Suprpto (2008) mensubstitusikannya ke Persamaan-2 menjadi:

$$I_k = \frac{J_k}{(N_k (1 - I_a))} \quad (3)$$

Meskipun terdapat hubungan erat antara kedua indeks pada Pers. (3) tampak nyata, masing-masing indeks tetap harus dicari. Hal ini dikarenakan indeks keandalan hanya ditentukan oleh jumlah kejadian andal tanpa ada pengaruh waktu atau agihan kejadiannya, sedangkan indeks kelentingan sangat dipengaruhi oleh jumlah dan agihan kejadian tidak andal. Indeks keandalan dapat dimaknai sebagai nilai jaminan mendapat air (tanpa perhitungkan waktu kejadian), sedangkan indeks kelentingan sebagai penjamin seberapa cepat kondisi tidak andal dapat kembali ke aras yang dapat diandalkan. Menurut Hashimoto dkk. (1982), Ng (1988), dan Loucks (1997), sistem dinyatakan dalam keadaan andal (*steady state*) bila nilai indeks $I_a=1$ (satu) dan $I_k=1$ (satu). Sebaliknya, sistem dinyatakan gagal total bila nilai indeks $I_a=0$ (nol) dan $I_k=0$ (nol).

Agar kebutuhan air terpenuhi sepanjang waktu periode pengelolaan/pengamatan, dan memberikan keamanan terhadap hasil produksi serta fungsi fasilitas bangunan, Mamok Suprpto (2008) menyusun suatu fungsi tujuan sebagai berikut:

$$\text{Maks } \sum_{i=1}^t (Q_p)_i = \sum_{i=1}^t (Q_{us} + Q_L + R - Q_{ds})_i \quad (4)$$

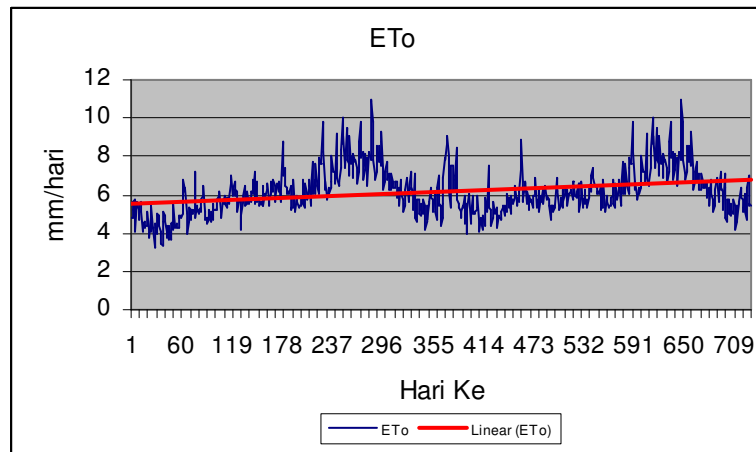
batasan: $Q_{ds} > 1$, Nilai indeks keandalan $> 75\%$, Nilai indeks kelentingan $> 50\%$

dengan: Q_{us} =inflow dari ruas sungai bagian hulu waduk, dll (m^3/dt), Q_L =lateral flow (m^3/dt), R =return (m^3/dt), Q_{ds} = aliran yang belum digunakan ke ruas sungai bagian hilir (m^3/dt), Q_p =pendayagunaan air keperluan (m^3/dt), S = tampungan (hanya untuk waduk) (m^3), t =penggal waktu dalam model (dt).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Evapotranspirasi Potensial (ET_o)

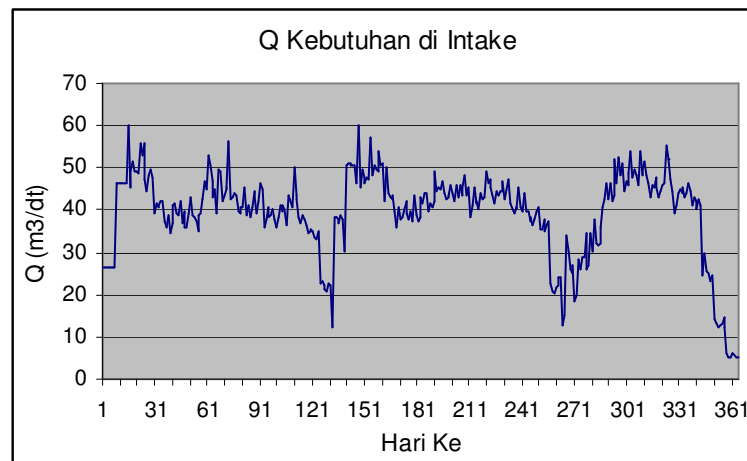
Hasil perhitungan ET_o disajikan dalam Gambar-1. Tampak dalam gambar bahwa lengkung ET_o memiliki kecenderungan yang meningkat. Peningkatan ini kemungkinan besar disebabkan oleh adanya perubahan iklim.



Gambar-1. Lengkung ET_o di DI-Notog, 2002

3.2. Kebutuhan Air di Intake

Berdasarkan hasil perhitungan ET_o , evapotranspirasi tanaman (ET_c) dihitung untuk tiap musim tanam (MT) pada masing-masing golongan, sesuai dengan awal musim tanam dan jenis tanaman pada tiap musim tanam. Dengan memperhitungkan luas lahan yang ditanami dan besaran efisiensi pengelolaan DI, maka kebutuhan air selama satu tahun di intake bendung dapat dihitung dan hasilnya disajikan pada Gambar-2.

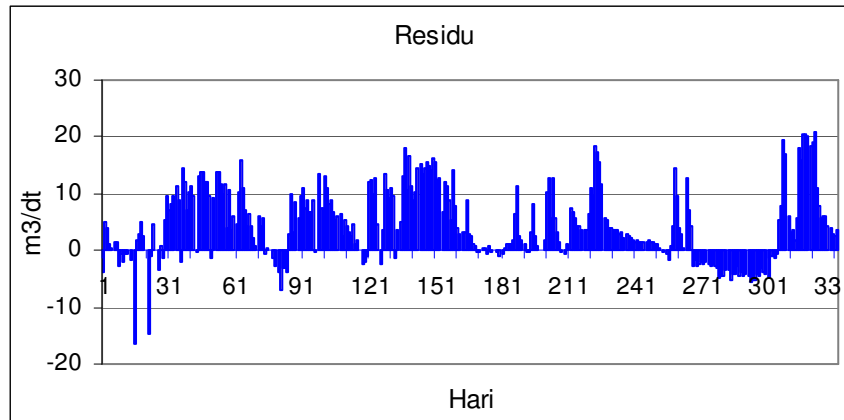


Gambar-2. Lengkung Q kebutuhan irigasi di intake bendung

Setelah dilakukan pengurangan antara pasok dan kebutuhan, diperoleh diagram balok residu yang ditampilkan pada Gambar-3. Diagram balok residu menggambarkan air lebih untuk diagram yang bernilai positif, sebaiknya kekurangan air untuk diagram yang bernilai negatif. Residu hasil dari pasok dikurangi kebutuhan air memberikan data kejadian sebagai berikut: jumlah total kejadian=332 hari, jumlah kejadian andal=246 hari, jumlah kejadian tidak andal=86 hari, jumlah kelompok tidak andal=22 hari.

Berdasarkan nilai hasil residu tersebut, dihitung indeks keandalan (I_a) dan indeks kelentingan (I_k) yakni $I_a=0,74$ dan $I_k=0,26$. Hasilnya ditunjukkan dalam Tabel-1 pada Kejadian-1. Hasil tersebut masih relatif lebih baik bila dibandingkan dengan Kejadian-2, yang dimisalkan kejadian tidak andal terjadi dalam satu kelompok. Pemisalan ini

memberikan hasil nilai $I_a=0,74$ dan $I_k=0,01$ seperti yang disajikan dalam Tabel-1 pada Kejadian-2. Tampak ada perbedaan pada nilai indeks kelentingan, meskipun indeks keandalannya sama. Hasil ini sekaligus membuktikan bahwa faktor- K yang selama ini digunakan dalam pengelolaan sistem irigasi memiliki kelemahan, karena tidak dapat menjamin kapan aras air normal atau andal dapat diperoleh kembali.



Gambar-3. Diagram balok residu aliran di *inatke* dan kebutuhan air

Tabel-1. Hasil perhitungan kedua indeks

Kejadian-1			
I_a	Jumlah kejadian andal/total kejadian	246/332	= 0,74
I_k	Jumlah kelompok tidak andal/jumlah kejadian tidak andal	22/86	= 0,26
Kejadian-2			
I_a	Jumlah kejadian andal/total kejadian	246/332	= 0,74
I_k	Jumlah kelompok tidak andal/jumlah kejadian tidak andal	= 1/86	= 0,01

Bila dikaitkan dengan nilai tolok ukur resiko yang diterapkan dalam penelitian ini, ketiga nilai tersebut menjelaskan bahwa pengelolaan yang diberlakukan di lapangan kurang baik, karena nilai indeks yang dihasilkan tidak memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, yaitu $I_a < 0,75$ dan $I_k < 0,50$. Keadaan ini juga dibuktikan di lapangan dengan seringnya terjadi kekurangan dalam pemenuhan kebutuhan air untuk irigasi.

4. KESIMPULAN

Penelitian yang telah dilakukan cukup memuaskan karena dapat membuktikan bahwa faktor- K yang selama ini digunakan dalam pengelolaan sistem irigasi di Indonesia memang perlu dikaji ulang. Ketidakmampuannya faktor- K dalam memberikan jaminan waktu kembalinya aras air pada kondisi normal dapat mengakibatkan kekurangan air yang bisa mengakibatkan gagal panen. Indeks kelentingan yang diujicobakan berpasangan dengan indeks keandalan (faktor- K) sebagai batasan dalam analisis optimasi dengan fungsi tujuan seperti yang dituliskan dalam Persamaa (4), sangat dimungkinkan untuk menjaga kelestarian dan pengelolaan SDA berkelanjutan. Namun demikian, pasangan kedua indeks tersebut masih dalam tahapan konsep yang masih perlu diujicobakan pada daerah irigasi lain, sehingga makna berkelanjutan yang terkandung dalam UU No.7/2004 tentang Sumber Daya Air dapat dijabarkan dalam bentuk operasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., dan Smith, M., (1998), *Crop Evapotranspiration, Guidelines For Computing Crop Water Requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Roma.
- Direktorat Pengairan dan Irigasi, (2004), *Undang Undang Republik Indonesia No.7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air*, BAPPENAS, Jakarta.
- Ditjen Sumberdaya Air, (2005), *Kebutuhan dan Cara Pemberian Air irigasi*, Seri Modul No. PPA 9/22, Edisi Ke-3, Badan Penelitian dan Pengembangan Dep. PU, Jakarta.
- Dracup, J. dan Vicuna, S., (2006), *An Overview of Hydrology and Water Resources Studies on Climate Change: the California Experience*, University of California, Berkeley, California.
- Duckstein, L. dan Plate, E.J., (1987), *Engineering Reliability And Risk In Water Resources*, Martinus Nijhoff, Dordrecht.

- Durand, W., (2003), *Assessing The Impact Of Climate Change On Crop Water Use In South Africa*, ARC-Grain crops Institute, Republic of South Africa, Potchefstroom.
- Essafi, B., (1997), A Simple Method For The Optimal Spasial And Temporal Allocation Of Water Shortages, *Sustainability Of Water Resources Under Increasing Uncertainty*, Proceeding Of The Rabat Symposium S1, April 1997. Publ. No. 240, p145-152.
- Gourbesville, P., (1997), Assessment Of The Balance Between Environmental Demands And Water Resources, *Sustainability Of Water Resources Under Increasing Uncertainty*, Proceeding Of The Rabat Symposium S1, April 1997. Publ. No. 240, p487-494.
- Hashimoto, T., Stedinger, J. R., dan Loucks, D.P., (1982), Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria for Water Resources System Performance Evaluation, *Water Resource Research*, Vol.18, No.1, h.14-20.
- Loucks, D.P., (1997), Quantifying Trends in System Sustainability, *Hydrological Sciences Journal*, 42(4), h. 513-530.
- Mamok Suprpto, (2008), *Pemodelan Pengelolaan Aliran Rendah Dengan Pendekatan Hidrologi Elementer*. Disertasi Pascasarjana Fakultas Teknik UGM, Jogjakarta
- McCartney, M. P., Lankford, B.A., dan Mahoo, H., (2007), *Agricultural Water Management in a Water Stressed Catchment: Lessons from the RIPARWIN Project*, Research Report 116, IWMI, Sri Lanka
- Mengistie, A., (1997), Land Surface Water Harvesting Techniques And Their Application For Drought Mitigation Measures, *Sustainability Of Water Resources Under Increasing Uncertainty*, Proceeding Of The Rabat Symposium S1, April 1997. Publ. No. 240, p51-56
- Ng, Poh-Kok, (1988), *Irrigation Systems Performance Monitoring and Evaluation: Reliability, Ressiliency, and Vulnerability Criteria for Assessing the Impact of Water Sthortage on Rice Yield*, Review IIMI, Vol.2, No.1.
- Pusposutardjo, (1997), Wawasan (Vision) Pengairan Masa Depan Dalam Kaitan Dengan Pengelolaan SDA, *Makalah Lokakarya Pemberdayaan Penairan Tingkat Regional*, Ditjen Pengairan, Denpasar, Bali.
- Pusposutardjo, (2001), *Pengembangan Irigasi, Usaha Tani Berkelanjutan dan Gerakan Air Hemat*, Ditjen Dikti, Depdiknas, Jakarta
- Roos, M., (2003), *The effects of Global Climate Change on California Water Resources. A report for the Energy California Comission*, Public Interest Energy Research Program, Research Development and Demonstration Plan, California
- Rosenzweig, C. dan Casassa, G., (2009), Assessment Of Observed Changes and Responses in Natural and Managed Systems, California.
- Stacey, M. T., (2009), *Anticipating Climate Change in San Francisco Bay Hydrodynamics*, Stanford University, UC-Berkeley.
- Zalewski M., (2002), Ecohydrology: the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. *Hydrological Sciences Journal* 47: h. 823–832.