

ANALISIS KETERSEDIAAN AIR SEBUAH DAS MENGUNAKAN MODEL NAM (*Nedbor Afstromnings Model*)

ANALYSIS OF WATER AVAILABILITY IN A WATERSHED USING NAM MODEL (*Nedbor Afstromnings Model*)

Sumiyati¹, Putu Sudira², Sahid Susanto²

ABSTRACT

This study was conducted at Loning Watershed which is located in Magelang, Central Java and completed with Loning dam. Water yield from watershed is mainly used for water supply of the Loning irrigation area. The optimal parameter of the NAM model were CQOF = 0,001, CLOF = 0,03, CQIF = 0,01, CLIF = 0,999, Umax = 70, Lmax = 500, CBFL = 0,99, CLG = 0,675, CKBFU = 0,35, CKBFL = 59, CK1 = 0,1, and CK2 = 0,1. The optimal initial value for some variables were Qif1+Qof1 = 0,5, Qif2+Qof2 = 0,01, U = 45, L = 480, BFU1 = 5,55, and BFL1 = 0,45.

Verification of the model indicated that statistically and graphically the NAM model is suitable to be applied for small watersheds for prediction of available water for irrigation as well.

The prediction of available water for irrigation of Loning irrigation area during the planting period of 1999/2000 indicated that there was excess of water during the period of October I to July I. In contrary, lack of water was occurred during the period of July II to September II.

Keywords : prediction, water availability, optimal parameter, NAM model and verification.

PENDAHULUAN

Ketidaklengkapan data pada suatu daerah aliran sungai merupakan salah satu masalah yang sering dihadapi di Indonesia. Dengan terjadinya keterbatasan data terutama data aliran sungai, akan merupakan suatu kendala dalam program pengelolaan dan pengembangan sumberdaya airnya. Pada sektor pertanian, hal tersebut terkait dengan perencanaan pengembangan pertanian terutama pertanian beririgasi, sehingga diperlukan data yang akurat untuk analisis sumberdaya air yang dapat dimanfaatkan untuk irigasi.

Untuk mengatasi keterbatasan ketersediaan air di lokasi penelitian (DAS Loning) maka peneliti melakukan penelitian untuk memprediksi ketersediaan air menggunakan model NAM. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai acuan/pedoman dan memberikan masukan untuk memprediksi ketersediaan air guna mendukung ketersediaan data sumberdaya air yang dapat dimanfaatkan untuk irigasi pada daerah yang bersangkutan.

Model NAM merupakan model yang mampu mengalihragamkan hujan menjadi aliran dengan masukan dan keluaran pada interval waktu harian, sehingga diharapkan dapat digunakan untuk memprediksi ketersediaan air, sebagai alternatif penyelesaian untuk mengatasi masalah ketidaklengkapan data aliran sungai pada suatu DAS.

Ketersediaan air pada suatu DAS tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan untuk sektor pertanian. Carruthers, *dkk.*, (1997) menggolongkan penggunaan air dalam tiga sektor utama yaitu untuk pertanian, industri, dan domestik. Penggunaan air untuk pertanian di dunia rata-rata 70% dan diatas 90% pada negara-negara berkembang. Sedangkan menurut Purcell (2000), pertanian menggunakan 80% - 90% dari air yang tersedia di negara-negara berkembang. Menurut standar perencanaan irigasi dari Departemen Pekerjaan Umum (Anonim, 1986), debit aliran sungai yang tersedia untuk irigasi adalah 80% dari debit total aliran sungai. Pemanfaatan air permukaan dapat dilaksanakan dengan menaikkan air sungai menggunakan bendung kemudian mengalirkannya ke lahan pertanian. Selama proses pengaliran, terjadi kehilangan air. Efisiensi irigasi di Indonesia berkisar antara 40% - 65% (Hutasoit, 1991 *dalam* Guerra *dkk.*, 1998). Sedangkan pada standar perencanaan irigasi (Anonim, 1986), efisiensi irigasi total pada umumnya dihitung sebesar 59% - 73%.

KERANGKA TEORITIS

Proses simulasi model NAM (*Nedbor Afstromnings Model*) dari hujan menjadi aliran pada suatu DAS dimulai dengan terjadinya perubahan air di permukaan dan di bawah tanah dan terurai secara berkesinambungan dalam lima macam perbedaan tampungan dimana tampungan itu saling berhubungan dalam suatu DAS. Penguraian tampungan tadi terdiri dari tampungan salju (tampungan ini untuk daerah tropis tidak dipakai), tampungan permukaan, tampungan bawah permukaan, tampungan atas dari aliran air tanah dan tampungan bawah dari aliran air tanah, disajikan pada Gambar 1.

Gambar struktur model NAM yang disajikan pada Gambar 1. merupakan sistem yang disederhanakan dari perubahan fase tanah dilihat dari aspek daur hidrologi.

¹ Staf Pengajar Program Studi Teknologi Pertanian Universitas Udayana, Denpasar

² Staf Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

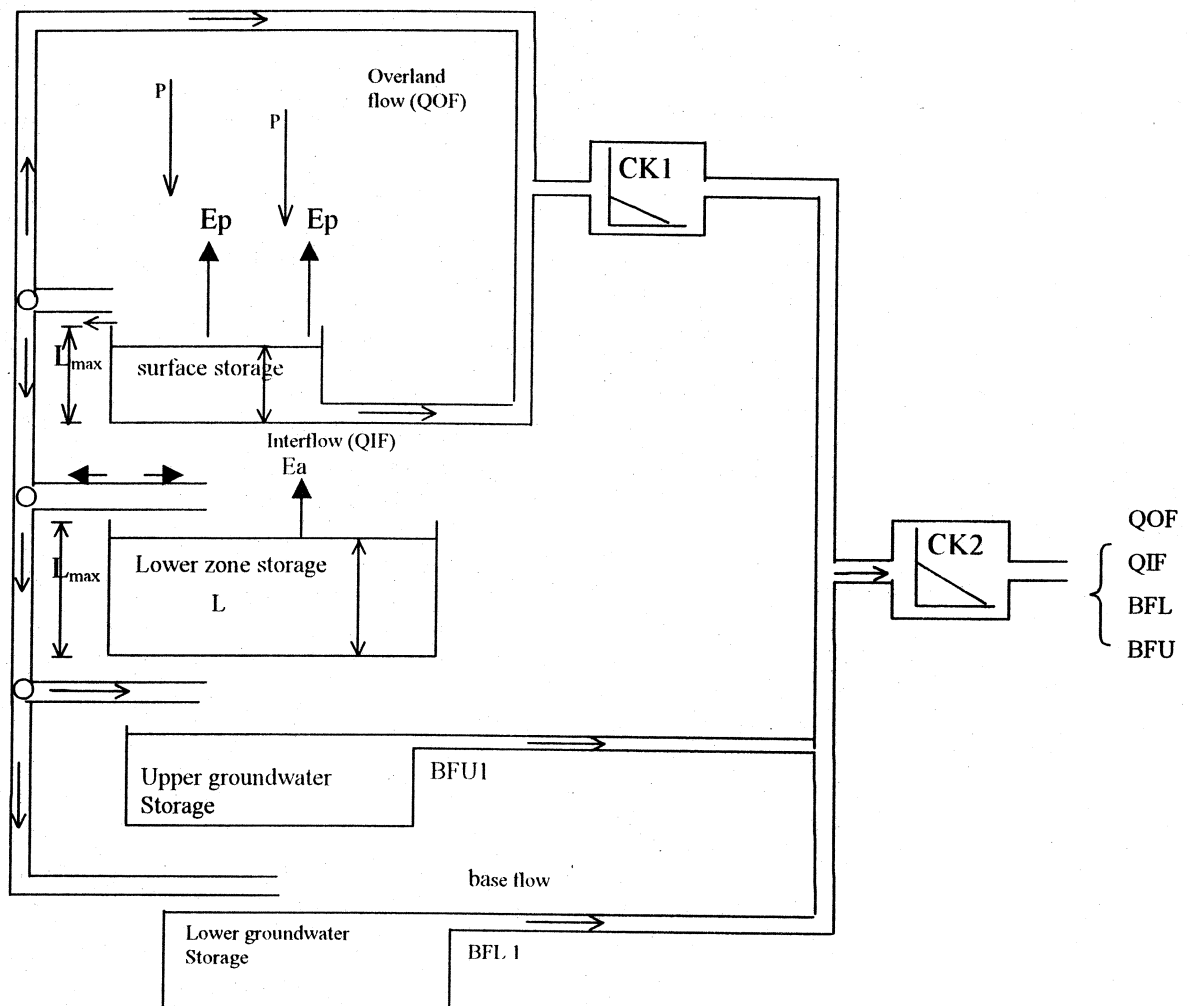


Figure 1. Structure of NAM model

Legend:

- P : rainfall
- E_p : potential evapotranspiration
- QOF : overland flow
- U : depression storage
- U_{maks} : maximum values of depression storage
- QIF : interflow
- L_{maks} : maximum soil moisture content
- L : soil moisture content
- E_a : actual evapotranspiration
- BFL1 : additional
- BFU1 : additional lower groundwater storage
- CK1 and CK2 : time constants
- BFU : water flow from upper groundwater storage
- BFL : water flow from lower groundwater storage

METODE PENELITIAN

Data, pengumpulan data, dan lokasi penelitian

Pada penelitian ini, model di aplikasikan pada satu DAS kecil yang dilengkapi dengan infrastruktur bendung dan merupakan sumber air irigasi untuk suatu daerah irigasi, yaitu DAS Loning yang merupakan daerah tangkapan (*cathment area*) tunggal dari DI Loning melalui Bendung Loning. DAS Loning mempunyai luas 933 ha, terletak di lereng Gunung Sumbing yaitu di Kec. Kaliangkrik, Kab. Magelang, Jawa Tengah.

Data-data yang diperlukan diperoleh dari Sub Dinas Pengairan DPU Kabupaten Magelang, Jawa Tengah meliputi : data curah hujan, data debit aliran sungai Loning, peta, data kebutuhan air di sawah dan curah hujan efektif pada DI Loning. Sedangkan data evapotranspirasi potensial (ET_o) dihitung menggunakan metode Penman-Monteith dengan bantuan *software* CROPWAT dan data-data yang diperlukan diperoleh dari stasiun klimatologi Borobudur, Magelang, Jawa Tengah.

Struktur model

a. Tampungannya permukaan (*surface storage*)

Keadaan air pada tampungannya permukaan merupakan jumlah air pada permukaan tanah sebesar U, yang secara berkesinambungan berkurang sebagai akibat evapotranspirasi dan aliran antara (*interflow*), QIF, dihitung secara proporsional dengan besarnya U, dan bervariasi pula secara linier dengan kelembaban tanah (L/L_{max} dari tampungannya bawah), ditulis dalam persamaan (1) :

$$QIF = CQIF \frac{L/L_{max} - CLIF}{1 - CLIF} U, \dots \text{ jika } L/L_{max} > CLIF \quad (1)$$

$$QIF = 0, \dots \text{ jika } L/L_{max} \leq CLIF$$

Dimana L : lengas tanah pada tampungannya bawah (mm), L_{max} : lengas tanah maksimum pada tampungannya bawah (mm), CQIF : parameter konstan, positif, dan kurang dari satu (1/waktu), CLIF : parameter konstan, positif, kurang dari satu dan tanpa dimensi, U : tampungannya permukaan.

Jika tampungannya atas U > U_{max}, akan terjadi kelebihan hujan P_n yang memberikan penambahan terhadap besarnya limpasan permukaan QOF yang diperkirakan proporsional terhadap kelebihan hujan P_n dan bervariasi secara linier terhadap kelembaban tanah, dinyatakan dalam persamaan sebagai (2) :

$$QOF = CQOF \frac{L/L_{max} - CLOF}{1 - CLOF} P_n, \dots \text{ jika } L/L_{max} > CLOF \quad (2)$$

$$QOF = 0, \dots \text{ jika } L/L_{max} \leq CLOF$$

Dimana L : lengas tanah pada tampungannya bawah (mm), L_{max} : lengas tanah maksimum pada tampungannya bawah (mm), CQOF dan CLOF : parameter konstan, positif, kurang dari satu dan tanpa dimensi, P_n : kelebihan hujan (mm)

b. Tampungannya bawah permukaan (*lower zone storage*)

Sebagian dari kelebihan air hujan, P_n, yang tidak menjadi limpasan permukaan akan terinfiltrasi ke dalam tampungannya bawah permukaan yang dikenal sebagai daerah perakaran. Jumlah air yang terinfiltrasi, DL, merupakan peningkatan lengas tanah pada tampungannya bawah permukaan. Sisa dari air yang terinfiltrasi diperkirakan menjadi aliran perkolasi dan merupakan imbuhan terhadap tampungannya air tanah G, yang dinyatakan dengan persamaan (3):

$$G = (P_n - QOF) \frac{L/L_{max} - CLG}{1 - CLG}, \dots \text{ jika } L/L_{max} > CLG \quad (3)$$

$$G = 0, \dots \text{ jika } L/L_{max} \leq CLG$$

$$DL = (P_n - QOF) - G$$

Dimana L : lengas tanah pada tampungannya bawah (mm), L_{max} : lengas tanah maksimum pada tampungannya bawah (mm), CLG : parameter yang nilainya positif, konstan, kurang dari satu dan tanpa dimensi, DL : peningkatan lengas tanah pada tampungannya bawah (mm), P_n : kelebihan hujan (mm).

Besarnya jumlah air yang diperlukan untuk evapotranspirasi pada awalnya diusahakan dari tampungannya permukaan (*surface storage*), namun apabila tidak mencukupi, maka kekurangannya diambil dari tampungannya bawah permukaan (*lower zone storage*).

Evapotranspirasi aktual E_a, besarnya dapat diperkirakan dengan persamaan (4) :

$$E_a = E_p \cdot \frac{L}{L_{max}} \quad (4)$$

Dimana E_p : evapotranspirasi potensial (mm), L : lengas tanah pada tampungannya bawah permukaan (mm), L_{max} : lengas tanah maksimum pada tampungannya bawah permukaan (mm).

c. Tampungannya air tanah (*groundwater storage*)

Penambahan pada tampungannya air tanah ditentukan dari persamaan (3) yang dibagi menjadi dua macam tampungannya yaitu tampungannya atas dan tampungannya bawah dari air tanah. Besarnya penambahan pada tampungannya bawah dari air tanah adalah CBFL x G, sedangkan yang masuk ke tampungannya atas dari air tanah adalah (1 - CBFL) x G. Dimana CBFL adalah konstan dan kurang dari satu.

d. Penelusuran (*routing*)

Seperti disajikan pada Gambar 1., aliran antara (QIF) dan limpasan permukaan (QOF) ditelusuri melalui "dual linear reservoir" dengan CK1 dan CK2 sebagai konstanta waktu.

Aliran dasar dihasilkan dari tampungannya atas dan bawah dari air tanah yang ditelusuri melalui linear reservoir yang kedua. Linear reservoir merupakan bentuk keluaran yang sebanding dengan kandungan air yang ada pada tampungannya. Keluaran pada waktu terakhir dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{out} = Q_{out}^0 \cdot e^{-t/CK} + Q_{in} (1 - e^{-t/CK}) \quad (5)$$

Dimana Q_{out}⁰ : keluaran akhir dari selang waktu yang terdahulu (mm), Q_{in} : masukan pada saat waktu sedang berjalan (mm), t : waktu, CK : konstanta waktu.

Kalibrasi dan Verifikasi Model

Salah satu metode kalibrasi dikemukakan oleh Singh (1988) adalah metode kuadrat terkecil (*method of least squares, MOLS*). Perkiraan parameter dengan menggunakan metode MOLS dilakukan dengan meminimalkan jumlah dari kuadrat selisih antara observasi dan prediksi.

Verifikasi model dimaksudkan untuk mengetahui kesesuaian model. Proses ini dilakukan menggunakan seri data yang tidak digunakan pada proses kalibrasi model. Metode grafis yang digunakan pada proses verifikasi adalah tipe diagram pencar (*scatter diagram*), sedangkan metode statistik yang digunakan adalah uji T (*T test*), dan *standard error* (SE).

Prediksi Ketersediaan Air

Hasil air (*water yield*) dari DAS tidak semuanya digunakan untuk keperluan irigasi. Besarnya debit yang tersedia untuk irigasi digunakan sebagai suplai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi pada daerah irigasi yang dialiri, yang tidak dapat dipenuhi oleh curah hujan yang terjadi pada daerah irigasi bersangkutan. Jumlah air yang dapat dimanfaatkan untuk irigasi adalah 80% dari debit totalnya (Anonim, 1986). Berdasarkan besarnya curah hujan efektif dan debit air yang tersedia untuk irigasi terhadap kebutuhan air irigasi pada suatu daerah irigasi, dapat dibuat neraca airnya.

Asumsi-asumsi model

1. Kondisi DAS tidak mengalami perubahan selama periode kegiatan kalibrasi, verifikasi, dan prediksi.
2. Hujan yang diterima DAS bersifat seragam terhadap ruang dan waktu
3. Komponen-komponen hidrologi yang dipertimbangkan dalam model merupakan suatu kesatuan yang utuh dari suatu sistem hidrologi.
4. DAS yang diteliti tidak dipengaruhi oleh DAS di sekitarnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Model

Nilai-nilai parameter optimal hasil kalibrasi model NAM pada DAS Loning, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah dengan menggunakan seri data tahun 1995-1996 adalah CQOF = 0,001, Umax = 70, CLOF = 0,03, CLG = 0,675, CQIF = 0,01, CKBFU = 0,35, CLIF = 0,999, CKBFL = 59, CK1 = 0,1, CBFL = 0,99, CK2 = 0,1, Lmax = 500. Disamping nilai-nilai parameter di atas, juga dilakukan kalibrasi terhadap nilai awal (*initial value*) dari beberapa variabel model dan diperoleh nilai awal (*initial value*) optimal untuk beberapa variabel model yaitu Qif1 + Qof1 = 0,5, Qif2 + Qof2 = 0,01, U = 45, L = 480, BFL1 = 5,55, BFU1 = 0,45.

Verifikasi Model

Untuk mengetahui tingkat keberlakuan model, dilakukan verifikasi pada seri data tahun 1997-2000, dengan menggunakan nilai-nilai parameter optimal hasil kalibrasi. Nilai-nilai hasil verifikasi dengan metode statistik sebagai tolok ukur keberlakuan model NAM pada DAS Loning adalah SE = 0,348 dan $T_{hitung} = 0,0095$.

Nilai SE yang ditampilkan model menunjukkan nilai yang relatif kecil, yaitu 0,348. Sedangkan dengan uji T (*T-test*), diperoleh nilai $T_{hitung} = 0,0095$. Nilai ini berada pada daerah penerimaan ($-1,96 < T_{hitung} < 1,96$) untuk uji dua sisi (*two tailed test*) pada taraf signifikansi 5%. Berdasarkan nilai-nilai tolok ukur keberlakuan model hasil verifikasi model NAM pada DAS Loning, menunjukkan bahwa debit prediksi keluaran model dapat diterima sebagai debit yang tidak berbeda nyata dengan debit observasi, sehingga model dapat diaplikasikan pada DAS kecil. Disamping ukuran statistik, tolok ukur keberlakuan model juga didasarkan pada kriteria grafis seperti disajikan pada Gambar 2. Pada Gambar 2 menunjukkan korelasi yang kuat antara debit prediksi dan debit pengamatan dengan nilai koefisien korelasi $R = 0,826$ dan nilai ini jauh lebih besar daripada R tabel (0,115).

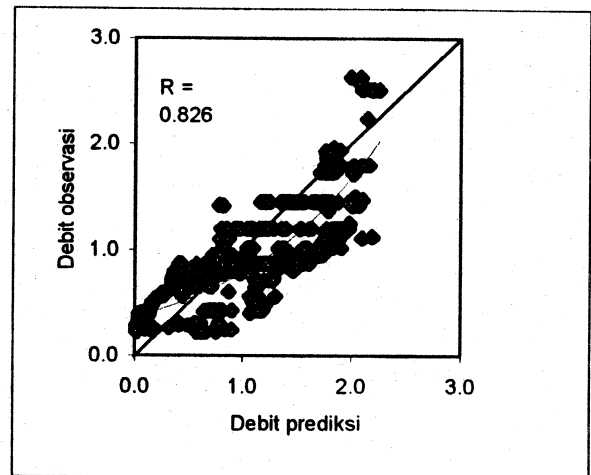


Figure 2. Verification of NAM model using the comparison of predicted and observed discharge in Loning watershed

Prediksi Ketersediaan Air

Debit yang tersedia untuk pertanian dalam penelitian ini ditentukan sebesar 80% dari debit totalnya (Anonim, 1986). Debit yang tersedia untuk pertanian tersebut merupakan air irigasi, digunakan sebagai tambahan (*suplement*) terhadap air hujan yang selama pengaliran dari bendung hingga ke petak-petak sawah mengalami kehilangan air sehingga terjadi efisiensi irigasi. Efisiensi irigasi didasarkan pada asumsi bahwa sebagian air yang dialirkan akan hilang baik di saluran maupun di petak sawah. Dalam penelitian ini efisiensi irigasi total ditentukan sebesar 65% (Anonim, 1986).

Berdasarkan data debit hasil air DAS Loning, maka dapat diperkirakan besarnya debit yang tersedia untuk pertanian sebagai air irigasi dan debit air irigasi yang sampai ke petak sawah setelah terjadi kehilangan air selama pengaliran dari sumbernya ke petak sawah. Besarnya air irigasi yang diperkirakan sampai di petak sawah ini digunakan sebagai tambahan (*suplement*) terhadap air hujan. Debit hasil air DAS Loning sebagai keluaran model NAM yang tersedia di Bendung Loning hingga yang sampai ke petak sawah pada DI Loning untuk periode 15 harian disajikan pada Tabel 1.

Table 1. Discharge and water requirement of the rice field in Loning irrigation area during the growing period of 1999/2000

Periode	Qsw (l/det)	Pef (l/det)	Qtsd (l/det)	Qkb (l/det)
Okt I	174	500,1	674,1	181,6
Okt II	299	870,1	1169,1	500,8
Nov I	586	870,1	1456,1	1147,8
Nov II	562	1100,1	1662,1	948,8
Des I	590	2265,3	2855,3	691,6
Des II	761	285,0	1046,0	691,6
Jan I	1426	685,1	2111,5	693,5
Jan II	1405	280,0	1685,5	695,9
Feb I	1485	1440,2	2925,6	694,0
Feb II	1682	280,0	1962,5	416,8
Mar I	1508	100,0	1607,7	446,3
Mar II	1612	245,0	1857,5	940,0
Apr I	1532	290,0	1822,5	746,0
Apr II	1321	385,1	1705,9	746,0
Mei I	1076	705,1	1780,6	711,8
Mei II	888	90,0	977,8	653,5
Jun I	699	0,0	699	687,8
Jun II	501	0,0	501	503,6
Jul I	381	0,0	381	176,8
Jul II	298	0,0	298	322,3
Agt I	229	0,0	229	322,3
Agt II	202	0,0	202	322,3
Sep I	169	0,0	169	322,3
Sep II	127	0,0	127	322,3

Ket. : Qsw : water availability reach the rice field
Pef : effective rainfall
Qtsd : water availability in the rice field (= Qsw + Pef)
Qkb : water requirement in the rice field

Debit tersedia yang sampai ke petak sawah merupakan debit yang tersedia untuk suplai air irigasi terhadap curah hujan efektif yang terjadi di DI Loning. Sehingga jumlah air total yang tersedia di sawah adalah curah hujan efektif di tambah dengan debit hasil air DAS Loning yang sampai ke petak sawah.

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa pada periode Oktober I sampai dengan Juli I terjadi kelebihan air yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air di sawah. Sedangkan pada periode Juli II sampai dengan September II, air yang tersedia lebih kecil daripada kebutuhan air di sawah. Berdasarkan nilai neraca air pada daerah irigasi tersebut di atas, maka dapat ditentukan langkah-langkah yang sesuai dalam rangka operasi jaringan irigasinya.

Model NAM merupakan model deterministik, dimana setiap masukan dengan dengan sifat-sifat tertentu selalu akan menghasilkan keluaran yang tertentu pula dan data keluaran model disebut sebagai data simulasi. Data ini dapat saja dihasilkan oleh model dengan masukan data sintetik yang dihasilkan oleh analisis stokastik. (Sri Harto, 1993). Untuk program perencanaan jangka panjang, maka model NAM ini dapat digunakan untuk prediksi ketersediaan air dengan masukan data sintetik dari hasil analisis stokastik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

- Dari proses kalibrasi model NAM di DAS Loning dihasilkan nilai-nilai parameter optimal CQOF = 0,001, Umax = 70, CLOF = 0,03, CLG = 0,675, CQIF = 0,01, CKBFU = 0,35, CLIF = 0,999, CKBFL = 59, CK1 = 0,1, CBFL = 0,99, CK2 = 0,1, dan Lmax = 500.
- Dengan menggunakan nilai-nilai optimal hasil kalibrasi, dihasilkan nilai-nilai tolok ukur keberlakuan model sebagai hasil proses verifikasi baik secara grafis maupun statistik. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa model NAM dapat diaplikasikan pada DAS kecil guna memprediksi ketersediaan airnya.
- Ketersediaan data sumberdaya air yang akurat dan memadai sangat mendukung program perencanaan dan pengembangan pertanian, terutama pertanian beririgasi.
- Nilai hasil air yang diperoleh dengan aplikasi model NAM apabila dilakukan pembangkitan dengan model stokastik akan bermanfaat bagi perencanaan tata tanam di lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1986, *Standar Perencanaan Irigasi*, DPU, CV. Galang Persada, Bandung.
- Carruthers, Ian, Mark W. Rosegrant, David Secler, 1997, *Irrigation and Food Security in the 21st Century*, Irrigation and Drainage System 11 : 83-101.
- Droogers, P., W.G.M. Bastiaanssen, M. Beyazgul, Y. Kayam, G.W. Kite, H. Murray-Rust, 2000, *Distributed Agro-hydrological Modelling of an Irrigation System in Western Turkey*, Agricultural Water Management Vol. 43 (2) : 183 - 202.
- Dyhr-Nielsen, M., 1982, *Nam Model Documentation*, Danish Hydraulic Institute. Denmark.
- Guerra, L.C., S.I. Bhuiyan, T.P. Toung, dan R. Barker, 1998, *Producing More Rice With Less Water*, SWIM Peper 5, Colombo-Srilanka, International Water Management Institute.
- Lano, M.L., 1998, *Aplikasi Model Hidrologi MOCK Untuk Memprediksi Ketersediaan Air Setengah Bulanan* (Studi Kasus di DAS Tilong dan DAS Benain), Tesis S2, UGM, Yogyakarta (Tidak dipublikasikan).
- Purcell, Randall, 2000, *A Call for Collaboration—Research Project on Modern Water Control and Management Practices—Evaluating the Impact on Irrigation Performance*, World Bank-IPTRID, Washington DC, 20433, USA.
- Singh, Vijay P., 1988, *Hydrologic Systems, Volume I, Rainfall-Runoff Modeling*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 07632.
- Sri Harto, 1993, *Analisis Hidrologi*, Gramedia, Jakarta.
- Sudira, P. 1999. *Pemodelan dan Simulasi*. Diktat kuliah S2, Teknik Pertanian, Pascasarjana, UGM

Lampiran 1. Parameter Model

BFU1	: besarnya penambahan tampungan atas pada air tanah	CLG	: konstanta pada persamaan perubahan tampungan air tanah
BFL1	: besarnya penambahan tampungan bawah pada air tanah	CKBFU	: konstanta waktu pada persamaan penelusuran tampungan atas air tanah
CQOF	: parameter konstan, positif, kurang dari satu	CKBFL	: konstanta waktu pada persamaan penelusuran tampungan atas air tanah
CLOF	: parameter konstan, positif, kurang dari satu	CBFL	: bagian air tanah yang masuk ke tampungan bawah air tanah
CQIF	: parameter konstan, positif, kurang dari satu	Umax	: kapasitas maksimum tampungan atas
CLIF	: parameter konstan, positif, kurang dari satu	Lmax	: kapasitas maksimum tampungan bawah
CK1 dan CK2	: konstanta waktu		