



SEMNAS TSDA 2015

BUKU PROSIDING

SEMINAR NASIONAL TEKNIK SUMBER DAYA AIR 2015

PENGELOLAAN TERPADU UNTUK MENDUKUNG KETAHANAN AIR BERKELANJUTAN DI KAWASAN PERKOTAAN

PENYELENGGARA



SABTU, 12 SEPTEMBER 2015
BALE DAYANG SUMBI (GSG) ITENAS
JL. PHH MUSTOPHA NO. 23 BANDUNG



Perpustakaan Nasional Republik Indonesia

Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air 2014, Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Perkotaan :

12 September 2015 : prosiding. Universitas Katolik Parahyangan : Jurusan Teknik Sipil,
2015

xiv, 299 halaman; 21 x 29,7 cm

ISBN 978-602-71432-2-7

1. Sumber Daya Air – Seminar 1. Judul

Reviewer

1. Doddi Yudianto, Ph.D
2. Olga Catherina Pattipawaej, Ph.D
3. Drs. Waluyo Hatmoko, M.Sc., PU-SDA
4. Dr. Ir. Ariani Budi Safarina, M.T.
5. Stephen Sanjaya, S.T.

The statements and opinion expressed in the papers are those of the authors themselves and do not necessarily reflect the opinion of the editors and organizers. Any mention of company or trade name does not imply endorsement by organizers

ISBN 978-602-71432-2-7

Copyright 2015, Jurusan Teknik Sipil Itenas Bandung

Not to be commercially reproduced by any means without written permission

Printed in Bandung, Indonesia, September 2015

Penerbit : Jurusan Teknik Sipil Itenas Bandung

PRATAKA

Puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas segala ridhoNya Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air dapat kita selenggarakan bersama pada hari Sabtu, 12 September 2015 di Bale Dayang Sumbi (GSG) Institut Teknologi Nasional Bandung. Seminar ini pada dasarnya merupakan kegiatan hasil kerjasama antara 12 instansi yaitu: Jurusan Teknik Sipil Unjani, Program Studi Teknik Sipil Unpar, Program Studi Teknik dan Pengelolaan Sumber Daya Air ITB, Jurusan Teknik Sipil Unla, Jurusan Teknik Sipil Itenas, Program Teknik Sipil UK Maranatha, Departemen Teknik Sipil Polban, Pusat Litbang Sumber Daya Air (Pusair), Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI) Cabang Jawa Barat, Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (DPSDA) Provinsi Jawa Barat, Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum dan Dinas Bina Marga dan Pengairan (DBMP) Kota Bandung.

Sebagaimana kita sadari bahwa permasalahan terkait sumber daya air di wilayah perkotaan yang kian semakin kompleks seiring dengan pesatnya tingkat urbanisasi yang mengakibatkan meningkatnya berbagai aktivitas sosial-ekonomi perkotaan, penggelontoran saluran, pemeliharaan sungai dan sebagainya. Selain itu seiring dengan pesatnya pertumbuhan teknologi termasuk di bidang informasi dan komunikasi, pengelolaan sumber daya air di kawasan perkotaan juga dihadapkan pada tuntutan layanan yang lebih tinggi tidak hanya secara kuantitas melainkan secara kualitas dan keberlanjutannya.

Untuk itu melalui seminar yang bertemakan Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Perkotaan ini diharapkan dapat menjadi media bagi para akademisi, peneliti, praktisi, pengamat lingkungan, dan masyarakat untuk memperoleh dan bertukar informasi serta pengalaman dalam rangka mendukung tercapainya pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Tentu informasi yang disampaikan dalam seminar ini masih jauh dari sempurna, namun demikian besar harapan bahwa kegiatan ini dapat memberikan kontribusi pemikiran atau gagasan bagi pengembangan keilmuan dan penyelenggaraan praktis pengelolaan sumber daya air khususnya untuk wilayah perkotaan. Sesuai dengan tema seminar, buku panduan ini telah disusun sedemikian rupa memuat seluruh abstrak dari makalah yang disajikan dalam seminar dengan 4 (empat) sub tema yaitu konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, pengendalian daya rusak air, serta pemberdayaan masyarakat dan penguatan hukum dan kelembagaan.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu terselenggaranya seminar ini. Semoga seminar ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua demi terwujudnya pengelolaan sumber daya air yang lebih baik di kemudian hari.

Bandung, September 2015

PANITIA

DAFTAR ISI

PRATAKA	i
DAFTAR ISI	ii
SAMBUTAN KETUA PANITIA	v
SAMBUTAN REKTOR ITENAS	vi
KEYNOTE SPEECH I (Dr. Ir. Arie Setiadi - Kepala Balai Penelitian dan Pengembangan Kementerian PUPR).....	vii
SEKILAS TENTANG SEMNAS	x
Latar Belakang	x
Tujuan	x
Tema	x
Sub Tema	x
Peserta	xi
Sekretariat	xi
Tim Reviewer	xi
SUSUNAN KEPANITIAAN	xii
A. Pengarah	xii
B. Panitia Pelaksana	xii
SUSUNAN ACARA SEMINAR	xiv
UCAPAN TERIMA KASIH	xiv

SUB TEMA 1: KONSERVASI SUMBER DAYA AIR

IMPLEMENTASI MODEL XINANJIANG YANG BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DALAM ANALISIS NERACA AIR DAS JIANGWAN (Steven Reinaldo Rusli, Jin Tao Liu, Doddi Yudianto).....	1
STUDI EVALUASI KUALITAS AIR SITU GEDE KOTA TANGERANG (Eka Wardhani, Kancitra Pharmawati, dan Indra)	16
KORELASI ANTARA SUBSIDEN – AIR TANAH – EMISI KARBON LAHAN RAWA GAMBUT (L. Budi Triadi, Maruddin F. Marpaung).....	30
KAJIAN TERHADAP KETEPATAN PEMETAAN KERENTANAN PENCEMARAN AIR TANAH MENGGUNAKAN METODE DRASTIC PADA KONDISI DATA AKIFER TERBATAS (Elly Kusumawati B).....	41

SUB TEMA 2: PENDAYAGUNAAN SUMBER DAYA AIR

PEMODELAN PERAMALAN CURAH HUJAN PADA DAS PAMARAYAN DENGAN METODE ESIM (Stephen Sanjaya, Bambang Adi Riyanto, Andreas Franskie Van Roy).....	60
--	----

APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK MENDETEKSI KEKERINGAN LAHAN DI KABUPATEN KUPANG (Basori).....	68
APLIKASI TEKNOLOGI MEMBRAN PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI RSUD LEBONG BENGKULU DALAM RANGKA PEMANFAATAN AIR RE-USE (Mohammad Imamuddin).....	78
STUDI EVALUASI OPTIMASI TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO DESA PUSAKA JAYA, KABUPATEN CIANJUR (Steven Sergij Salim, Bambang Adi Riyanto).....	93
TANTANGAN DAN PERBAIKAN SISTEM BENDUNG SUNGAI GESEK DALAM PENYEDIAAN AIR BAKU DI PULAU BINTAN (Slamet Lestari).....	100
POLA PERGERAKAN ALIRAN DI MUARA SUNGAI MUSI DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM MIKE-21 FLOW MODEL (Achmad Syarifudin, Eka Puji Agustini).....	111

SUB TEMA 3: PENGENDALIAN DAYA RUSAK AIR

PERENCANAAN PENGENDALIAN BANJIR DI JAKARTA (Tri Hardhono, Beny Syahputra).....	118
ANALISIS SISTEM CLUSTER SEBAGAI UPAYA PENGENDALIAN LIMPASAN PERMUKAAN PADA KAWASAN INDUSTRI (Obaja Triputera Wijaya, Doddi Yudianto, GUAN Yiqing).....	123
SISTEM PENGENDALIAN EROSI UNTUK MEMPERTAHANKAN LAPISAN TANAH SUBUR PADA LAHAN PERTANIAN PRODUKTIF STUDI KASUS: DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) CITARUM HULU (Dede Sumarna, H. Bakhtiar. AB).....	132
PENGENDALIAN BANJIR PADA KAWASAN TAMBANG TIMAH DI KABUPATEN BANGKA (Parindra A. Wardhana, Meru Condro Wiguno, Yudi Wachyudiana).....	145
EVALUASI KAPASITAS SALURAN DRAINASE PADA KAWASAN PERMUKIMAN MANDIRI BERWAWASAN PENDIDIKAN (Sandy Sella Fajar, Doddi Yudianto)	155
EVALUASI DAMPAK PEMBANGUNAN GEDUNG TERHADAP KINERJA SISTEM DRAINASE KAMPUS (Arnold Saputra, Doddi Yudianto).....	163
EVALUASI KINERJA SISTEM DRAINASE PADA KAWASAN PEMUKIMAN DI BANDUNG TIMUR (Mesta Saktina, Doddi Yudianto).....	176
UPAYA PENGENDALIAN BANJIR SUNGAI CICADAS KOTA BANDUNG (Dwi Aryani Semadhi, Winskayati).....	188
PENGUNAAN BIOPORI SEBAGAI ALTERNATIF MENGURANGI GENANGAN BANJIR DAERAH PERKOTAAN (Achmad Syarifudin, Hendri, Mega Yunanda)	196

OPTIMASI SISTEM PERKUATAN TANGGUL BANJIR SUNGAI TEMBUKU DALAM MENANGGULANGI POTENSI BANJIR KOTA JAMBI (Slamet Lestari).....	200
PENANGANAN EROSI PANTAI DI DESA PUSAKA JAYA UTARA SAMPAI DENGAN MUARA BUNTU KABUPATEN KARAWANG (Yati Muliati, Yunus Purwanto, Ahmad Luthfi).....	214
SUB TEMA 4: PEMBERDAYAAN MASYARAKAT, PENGUATAN HUKUM, DAN KELEMBAGAAN	
PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR TERPADU DALAM RANGKA PENYEDIAAN AIR BERSIH BERBASIS MASYARAKAT DI KABUPATEN LAMONGAN (Feril Hariati).....	225
PERAN MASYARAKAT DALAM PENGENDALIAN DAYA RUSAK AIR DI KABUPATEN BOGOR (Widya Nasarita Fitriz, Parindra Ardi Wardhana, Meru Condro Wiguno).....	236
EVALUASI TINGKAT KEPEKAAN SISWA TERHADAP PELESTARIAN SUMBER DAYA AIR (Anastasia Septya Wardaningrum dan Tidani Sillo Hines Aluhnia Zebua).....	248
ANALISIS RISIKO KEMITRAAN PEMERINTAH SWASTA (KPS) PADA PROYEK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTMH) (Ririn Rimawan).....	258
PERLINDUNGAN KAWASAN PENYANGGA MATA AIR SEBAGAI UPAYA KONSERVASI MELALUI KKN-PPM (Restu Wigati, Soelarso).....	291

SAMBUTAN KETUA PANITIA

Assalamu'alaikum. Wr. Wb. Salam sejahtera bagi kita semua.



Dengan mengucapkan syukur ke hadirat Allah SWT, kami bersyukur pada hari ini Sabtu, 12 September 2015 kita dapat berkumpul pada Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air di Bale Dayang Sumbi (Gedung Serba Guna) Iteas Bandung dalam keadaan sehat wal afiat.

Penyelenggaraan seminar ini merupakan kelanjutan dari rangkaian seminar tahun 2006-2010 atas kerjasama 5 instansi dan seminar 20 September 2014 di Unpar, yang sejak tahun 2014 terlaksana atas kerjasama yang baik antara 12 instansi, yaitu: Jurusan Teknik Sipil Iteas, Jurusan Teknik Sipil Unjani, Program Studi Teknik Sipil Unpar, Program Studi Teknik dan Pengelolaan Sumber Daya Air ITB, Jurusan Teknik Sipil UK Maranatha, Jurusan Teknik Sipil Unla, Departemen Teknik Sipil Polban, DPSDA Provinsi Jawa Barat, Puslitbang Sumber Daya Air, HATHI Cabang Jabar, BBWS Citarum dan DBMP Kota Bandung.

“Pengelolaan Terpadu untuk Mendukung Ketahanan Air Berkelanjutan di Kawasan Perkotaan” adalah tema seminar yang dipilih atas beberapa pertimbangan antara lain permasalahan ketersediaan, pemanfaatan, pengembangan dan pengelolaan air bagi wilayah perkotaan. Seiring dengan pesatnya tingkat urbanisasi, ketahanan air di kawasan perkotaan merupakan faktor kunci terkait kemampuan masyarakat perkotaan untuk dapat menyediakan akses dalam rangka pemenuhan kebutuhan air sehari-hari yang merupakan hak azasi setiap manusia. Selain itu, air dibutuhkan kawasan perkotaan untuk menopang berbagai aktivitas sosial-ekonomi perkotaan, penggelontoran saluran, pemeliharaan sungai dan sebagainya. Tidak hanya secara kuantitas, pemenuhan kebutuhan air tetap harus menyertakan ketahanan kualitas air sesuai dengan baku mutunya. Dengan memanfaatkan berbagai teknologi pintar atau *smart technology* yang tersedia, pengelolaan sumber daya air diupayakan untuk dapat diimplementasikan secara lebih efisien dan efektif serta berkelanjutan.

Memperhatikan berbagai permasalahan tersebut di atas, peran serta pemerintah bersama masyarakat menjadi langkah penting untuk dapat menyelenggarakan pengelolaan air secara terpadu untuk wilayah perkotaan dengan mengintegrasikan kepentingan berbagai sektor, wilayah, dan para pemilik kepentingan dalam bidang sumber daya air. Tidak terlepas dari itu, perguruan tinggi sebagai lembaga pendidikan memiliki peran kunci untuk mendukung penyelesaian masalah dan penerapan konsep pembangunan yang berkelanjutan khususnya untuk wilayah perkotaan.

Pada kesempatan ini kami ucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada para pemakalah yang telah bersedia hadir dan berbagi ilmu sehingga dapat menambah wawasan para peserta seminar.

Akhir kata ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para anggota panitia Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air atas kerjasamanya selama ini dan kesediaannya untuk mencurahkan segenap pikiran, waktu dan sebagian finansialnya dalam mempersiapkan acara ini. Kami mohon maaf jika terjadi kekurangan dalam penyelenggaraan seminar ini. Semoga segala amal baik Ibu, Bapak, dan Saudara sekalian mendapatkan imbalan dari Allah SWT.

Selamat Berseminar dan Terima kasih.

Wabillahi Taufik Walhidayah.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Panitia Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air 2015

Ketua,

Yati Muliati

Bandung, 12 September 2015

SAMBUTAN REKTOR ITENAS



Segala puji bagi Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, karena berkat rahmat dan anugerahNya maka Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air 2015 dengan tema Pengelolaan Terpadu untuk Mendukung Ketahanan Air Berkelanjutan di Kawasan Perkotaan dapat dilaksanakan dengan baik. Seminar nasional ini terwujud atas kerjasama antara Institut Teknologi Nasional Bandung (Itenas) dengan konsorsium enam perguruan tinggi Institut Teknologi Bandung (ITB), Universitas Katolik Parahyangan, Universitas Kristen Maranatha, Universitas Jenderal Achmad Yani, Politeknik Negeri Bandung (Polban), Universitas Lalangbuana, HATHI cabang Bandung, Pusair, Balai Besar Wilayah Sungai Citarum, DPSDA Provinsi Jawa Barat dan DBMP kota Bandung. Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air ini dilaksanakan tiap tahun yang merupakan wadah pertukaran ilmu, ide serta pengalaman dalam mengembangkan dan mengaplikasikan ilmu sumber daya air, sekaligus juga merupakan ajang sambung rasa oleh segenap peserta seminar khususnya anggota HATHI.

Tema Pengelolaan Terpadu untuk Mendukung Ketahanan Air Berkelanjutan di Kawasan Perkotaan sangat relevan dan menarik untuk didiskusikan saat ini, hal ini dikarenakan permasalahan dan tantangan pemenuhan kebutuhan air bersih dan berkualitas secara berkesinambungan dan merata bagi penduduk di kawasan perkotaan makin sulit dan kompleks. Permasalahan dan tantangan yang dihadapi dalam pemenuhan air bersih dan berkualitas di masa depan khususnya di kawasan perkotaan adalah pertumbuhan penduduk di kawasan perkotaan terus meningkat tajam akibat urbanisasi, ruang terbuka hijau sangat terbatas akibat pengendalian penggunaan lahan dan pembangunan yang belum baik, kebutuhan air terus meningkat sehingga pengambilan air tanah yang tidak terkendali, infrastruktur sistem drainase yang belum tercukupi, menurunnya kualitas air akibat pertumbuhan sampah dan limbah yang cenderung naik, koordinasi lembaga terkait belum optimal, dan persepsi pemangku kepentingan tentang permasalahan utama air yang belum selaras, peran serta masyarakat dalam menjaga lingkungan yang belum baik, serta potensi dampak perubahan iklim yang ekstrim akibat pemanasan global.

Sehubungan dengan itu, air sebagai sumber daya alam strategis perlu dikelola secara baik, sehingga tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kehidupan bermasyarakat yang pada akhirnya akan mengganggu pembangunan nasional. Dengan demikian melalui seminar nasional ini, diharapkan dapat menghasilkan pengembangan kebijakan yang dapat dirumuskan dalam mengelola sumber daya air sehingga mampu meningkatkan ketahanan air yang berkelanjutan agar menjadi pendorong bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia.

Semoga makalah-makalah teknis serta makalah kunci yang disajikan dalam Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air ini mampu memberikan sumbangsih yang besar bagi semua pemangku kepentingan, baik praktisi, perekayasa maupun pengambil kebijakan serta masyarakat. Akhirnya, atas kesempatan dan kepercayaan semua pihak penyelenggara untuk dapat menyelenggarakan Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air 2015 di Itenas, saya atas nama Institut Teknologi Nasional menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah bekerja keras dan membantu terselenggaranya Seminar Nasional ini. Khususnya kepada panitia yang berkerja keras dan berupaya mensukseskan acara seminar nasional ini serta pencetakan dan penerbitan buku ini.

Bandung, September 2015

Dr. Ir. Imam Aschuri, M.T.

Rektor Itenas

SEKILAS TENTANG SEMNAS

Latar Belakang

Kawasan perkotaan (*urban*) adalah kawasan yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian dengan susunan fungsi sebagai permukiman perkotaan, pemusatan dan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial, dan kegiatan ekonomi. Seiring dengan pesatnya tingkat urbanisasi, ketahanan air di kawasan perkotaan merupakan faktor kunci terkait kemampuan masyarakat perkotaan untuk dapat menyediakan akses dalam rangka pemenuhan kebutuhan air sehari-hari yang merupakan hak azasi setiap manusia. Selain itu, air dibutuhkan kawasan perkotaan untuk menopang berbagai aktivitas sosial-ekonomi perkotaan, penggelontoran saluran, pemeliharaan sungai dan sebagainya. Tidak hanya secara kuantitas, pemenuhan kebutuhan air tetap harus menyertakan ketahanan kualitas air sesuai dengan baku mutunya.

Kota Jonggol merupakan salah satu contoh dimana perkembangan sebuah kawasan menjadi terhambat karena kekurangan air. Sebaliknya, Bale Endah sebagai ibukota Kabupaten Bandung terpaksa harus dipindahkan karena setiap musim hujan selalu mengalami bencana banjir. Hingga saat ini, Kota Bandung dan sekitarnya belum sepenuhnya berhasil menyediakan layanan air bersih yang memadai akibat kurangnya pasokan air. Sebagai konsekuensinya, masyarakat dan sebagian industri masih sangat tergantung pada air tanah yang notabene pada akhirnya menyebabkan penurunan muka air tanah dan permukaan tanah, meningkatnya risiko genangan, kerusakan infrastruktur air perpipaan, dan sebagainya. Berkurangnya pasokan air pada musim kemarau dan semakin meningkatnya frekuensi bencana banjir pada musim hujan kini kian semakin parah seiring dengan maraknya alih fungsi kawasan konservasi dan perubahan iklim. Untuk itu, penguatan hukum dan kelembagaan serta peningkatan pemberdayaan masyarakat dalam pengelolaan sumber daya air mutlak harus dilakukan.

Di samping itu, seiring dengan pesatnya pertumbuhan teknologi termasuk di bidang informasi dan komunikasi, pengelolaan sumber daya air di kawasan perkotaan dihadapkan pada tuntutan layanan yang lebih tinggi. Dengan memanfaatkan berbagai teknologi pintar atau *smart technology* yang tersedia, pengelolaan sumber daya air diupayakan untuk dapat diimplementasikan secara lebih efisien dan efektif serta berkelanjutan.

Tujuan

1. Sebagai media untuk berbagi pengalaman mengenai berbagai permasalahan dan solusi tentang pengelolaan air di kawasan perkotaan.
2. Sebagai media untuk mengkomunikasikan pemikiran tentang upaya-upaya pengelolaan air terpadu di kawasan perkotaan untuk mendukung pengembangan keilmuan di bidang teknik sumber daya air sekaligus masukan bagi para pengambil keputusan.
3. Sebagai media yang menyediakan kesempatan bagi para pemangku kepentingan untuk dapat berkolaborasi dalam rangka meningkatkan kinerja pengelolaan air di kawasan perkotaan.

Tema

PENGELOLAAN TERPADU UNTUK MENDUKUNG KETAHANAN AIR BERKELANJUTAN DI KAWASAN PERKOTAAN

Sub Tema

1. Konservasi Sumber Daya Air

Upaya mengatasi kelangkaan air perkotaan terutama yang berkaitan dengan keterpaduan pemanfaatan air permukaan dan air tanah, upaya pemanenan air hujan dan pengawetan air, pengendalian kualitas air dan daur ulang air, tapak air, serta peningkatan sanitasi masyarakat.

2. Pendayagunaan Sumber Daya Air
 - Peningkatan infrastruktur penyediaan air bersih dan pengolahan limbah terkait isu-isu peremajaan dan pengembangan sistem distribusi air, kebocoran air perpipaan, serta pengembangan dan pengadaan teknologi pengolahan limbah
 - Keterpaduan teknologi dalam rangka meningkatkan efisiensi pemanfaatan air untuk mendukung ketahanan pangan dan pengembangan energi terbarukan
 - Aplikasi teknologi pintar (*smart technology*), meliputi: meteran pintar, sistem informasi geografis dan penginderaan jauh, telemetri, dan sistem pengambilan keputusan.
3. Pengendalian Daya Rusak Air
 - Perencanaan terpadu kawasan perkotaan, meliputi pembangunan dengan dampak minimum, pengendalian banjir perkotaan, pengendalian tata guna lahan, pengelolaan sampah, restorasi sungai di perkotaan
 - Perencanaan sistem yang adaptif terhadap bencana (sistem peringatan dini, adaptasi terhadap perubahan iklim)
4. Pemberdayaan Masyarakat dan Penguatan Hukum dan Kelembagaan
 - Peningkatan peran masyarakat melalui penguatan kerjasama pemerintah, dunia usaha, dan masyarakat akademik/peneliti.
 - Penguatan kelembagaan dan kerangka peraturan/perundangan

Peserta

1. Pemerintahan
2. Konsultan
3. Kontraktor
4. Penelitian, LSM, Pemerhati masalah Keairan, Anggota HATHI
5. Dosen dan Mahasiswa
6. Umum

Sekretariat

Jurusan Teknik Sipil Universitas Jenderal Achmad Yani

Jl. Terusan jenderal Sudirman PO. BOX 148, Cimahi

Telepon : (022) 6641743

Faximile : (022) 6641743

Email : seminar.tsda.bdg@gmail.com

Tim Reviewer

1. Doddi Yudianto, Ph.D
2. Olga Catherina Pattipawaej, Ph.D
3. Drs. Waluyo Hatmoko, M.Sc., PU-SDA
4. Dr. Ir. Ariani Budi Safarina, M.T.
5. Stephen Sanjaya, S.T.

IMPLEMENTASI MODEL XINANJIANG YANG BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DALAM ANALISIS NERACA AIR DAS JIANGWAN

Steven Reinaldo Rusli^{1,2,*}, Jin Tao Liu², dan Doddi Yudianto^{2*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung 40141, Indonesia

²State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing, People Republic of China

[*steven.reinaldo.rusli@gmail.com](mailto:steven.reinaldo.rusli@gmail.com)

Abstrak

Pemanfaatan Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai objek penelitian, dimana pengembangan instalasi instrumentasi pengukuran hidrologi dilakukan, belum menjadi prioritas di negara berkembang seperti Indonesia. Padahal, kebijakan alokasi DAS penelitian sangat berguna dalam menguji performa model hujan-limpasan. Dengan menggunakan DAS Jiangwan yang merupakan DAS penelitian yang terletak di Provinsi Zhejiang, China, dengan data hidrologi harian tersedia dari tahun 1971 - 1986, studi ini bertujuan untuk menguji kestabilan model Xinanjiang, model hidrologi terdistribusi yang memanfaatkan data sistem informasi geografis sebagai masukan data geospasialnya. Kestabilan yang dimaksud adalah kestabilan parameter model yang dihasilkan, sesuai dengan hipotesa awal berdasarkan tata guna lahan pada DAS yang tidak berubah. Metode yang digunakan berupa metode trial and error dalam kalibrasi parameter yang ada. Hasil analisis menunjukkan kestabilan parameter tercapai, kecuali empat parameter yang sedikit mengalami perubahan yaitu KG, KI, CG, CI dan dua komponen yaitu WUM dan WLM. Seluruh perubahan terjadi pada unsur yang berhubungan dengan proporsi aliran bawah permukaan, yaitu interflow dan aliran air tanah. Tanpa memperhatikan simulasi tahun 1977 yang kualitas datanya tidak memenuhi kriteria keandalan, Nash-Sutcliffe dan relative error yang digunakan sebagai kriteria evaluasi menunjukkan hasil yang memuaskan, dengan nilai rata-rata berturut-turut 0.59174 dan 0.0479. Hasil ini menunjukkan kontribusi besar yang diberikan oleh aplikasi teknologi pintar dalam simulasi model neraca air.

Kata Kunci: Model Xinanjiang, Sistem Informasi Grafis, DAS Jiangwan

LATAR BELAKANG

Dewasa ini, ketersediaan informasi peramalan debit yang akurat menjadi sangat penting dilihat dari sisi hidrologi, terutama mempertimbangkan aplikasinya dalam berbagai kebutuhan – seperti perencanaan sumber daya air pada tatanan lokal, regional dan nasional, kebijakan pengambilan air, perencanaan suplai air untuk publik, perkiraan dilusi polutan air, navigasi, perencanaan pembangkit listrik tenaga air, perencanaan daerah irigasi, pengelolaan sumber daya air pada musim kering dan sebagainya (*World Meteorological Organization*, 2009). Mengacu pada penggunaannya yang sangat luas dan fungsional, perkembangan dari model hujan – limpasan, atau biasa disebut juga model neraca air terjadi dengan sangat cepat, terutama pada Negara-negara berkembang seperti Negara Republik Rakyat Cina (RRC).

Model Xinanjiang, dikembangkan oleh Zhao, et al. (1980) dari Negara RRC sudah terbukti memberikan hasil yang lebih konsisten dibandingkan model neraca air lain, seperti model Pitman dari Afrika Selatan, model NAM dari Eropa, model Sacramento dari Amerika Serikat dan model SMAR dari Irlandia (Gan, et al. 1997), dikarenakan kapabilitas model Xinanjiang untuk memperhitungkan ketidakseragaman distribusi spasial dari DAS yang berkontribusi terhadap volume limpasan. Meskipun pada umumnya model Xinanjiang memiliki 15 buah parameter, berbagai modifikasi yang dimasukkan ke dalam model telah menghasilkan sejumlah parameter tambahan, dengan tujuan memberikan hasil yang lebih maksimal. Terkait dengan parameter model, Cheng, et al. (2002) menyebutkan, keberhasilan aplikasi model neraca

air sangat bergantung kepada kualitas proses kalibrasi parameter. Maka itu, penentuan parameter model memiliki peran yang sangat penting dalam mensimulasikan proses siklus hidrologi suatu DAS.

Namun, fenomena 'equifinality' dilihat sebagai salah satu problematika dalam kalibrasi model hujan – limpasan. 'Equifinality' adalah kejadian di mana model hujan – limpasan memberikan hasil evaluasi simulasi yang sama dengan parameter yang berbeda, yang mengindikasikan ketidakstabilan model tersebut. Untuk menghindari kejadian tersebut, dikembangkan batasan nilai untuk masing-masing parameter model berdasarkan pengalaman aplikasi penggunaan model, sebagai contoh batasan nilai parameter HBV96 yang disarankan oleh Lidén dan Harlin, (2000). Hasil studi ini diharapkan memberikan evaluasi terhadap stabilitas parameter model Xinanjiang. Dengan menggunakan DAS Jiangwan, yang relatif tidak berubah dari segi tata guna lahan dan karakteristik hidrologi, kecenderungan masing-masing parameter akan diamati, dan diharapkan bahwa fluktuasi parameter yang dihasilkan seminimum mungkin.

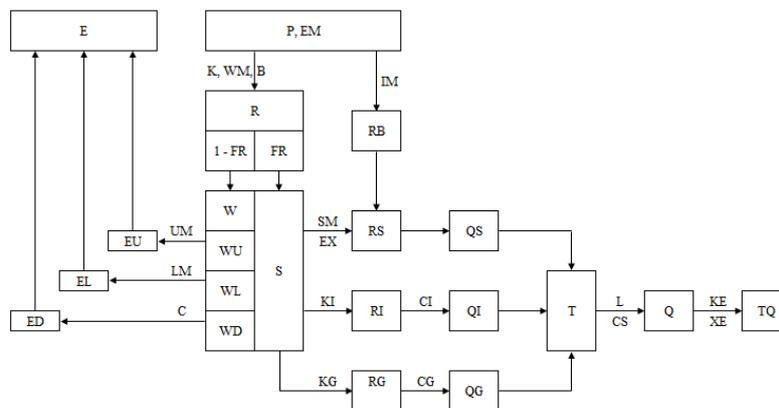
METODOLOGI STUDI

Model Xinanjiang

Secara konsep, struktur model Xinanjiang terdiri dari empat tahap utama; perhitungan evapotranspirasi (konsep tiga lapisan kelembaban tanah), generasi limpasan, (konsep *repletion of storage*), pemisahan limpasan (konsep limpasan Horton) dan penelusuran limpasan (metode Muskingum), dengan total 15 buah parameter yang terdistribusi terhadap masing-masing tahapan analisis yang ada. Gambar 1 dan Tabel 1 di bawah memberikan gambaran skematis mengenai proses analisis dan parameter.

Tabel 1. Deskripsi masing-masing Parameter Model Xinanjiang

Parameter	Deskripsi
K	Rasio antara potensi evapotranspirasi dan evapotranspirasi aktual
UM	Batas maksimum evapotranspirasi pada lapisan atas
LM	Batas maksimum evapotranspirasi pada lapisan bawah
C	Koefisien evapotranspirasi untuk lapisan dalam
WM	Rata-rata kapasitas penyimpanan air tertekan seluruh DAS
B	Kontribusi berpangkat dari kurva distribusi spasial kapasitas penyimpanan air tertekan
IM	Proporsi daerah kedap air terhadap total luasan DAS
SM	Kapasitas penyimpanan air bebas
Ex	Kontribusi berpangkat dari kurva distribusi spasial kapasitas penyimpanan air bebas
KI	Koefisien kontribusi air bebas ke aliran interflow
KG	Koefisien kontribusi air bebas ke aliran air tanah
CS	Parameter penelusuran limpasan permukaan
CI	Konstanta tampungan interflow
CG	Konstanta tampungan air tanah
L	Parameter penelusuran



Gambar 1. Struktur Model Xinanjiang

Secara teknis, analisis spasial dalam studi ini didasarkan pada data fisik yang didapat dari data *Digital Elevation Model* (DEM) yang biasa dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak Arch-GIS. Setelah proses pembagian DAS menjadi pias-pias yang lebih kecil, analisis dilakukan di dalam setiap pias, kemudian dilanjutkan dengan penelusuran limpasan untuk memberikan pengaruh ketelitian dan akurasi hasil simulasi yang menjadi kelebihan yang ditawarkan oleh model hidrologi yang terdistribusi.

Pada tahapan perhitungan evapotranspirasi, konsep tiga lapisan kelembaban tanah (lapisan atas, bawah dan dalam) diterapkan, dengan batasan pada lapisan atas dan bawah (UM dan LM) yang sudah ditetapkan terlebih dahulu. Modifikasi terhadap perhitungan evapotranspirasi Xinanjiang sudah dilakukan beberapa peneliti, seperti penggunaan metode MODIS-LAI oleh Li, et al. (2009). Namun, dalam studi ini, perhitungan yang dilakukan menggunakan formula seperti ditunjukkan persamaan di bawah ini, sesuai dengan formula Xinanjiang.

$$EU = K \times EM \quad (1)$$

$$EL = [(K \times EM) - EU] \times WL/LM \quad (2)$$

$$ED = C \times [(K \times EM) - EU] \times EL \quad (3)$$

Keterangan:

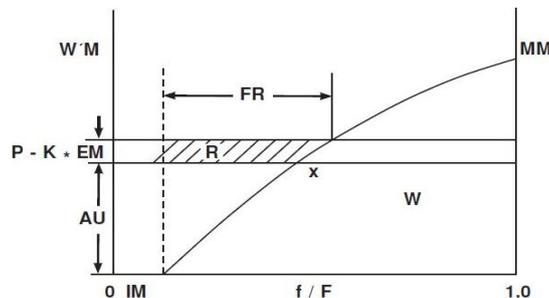
EU : tinggi evapotranspirasi pada lapisan atas (mm)

EL : tinggi evapotranspirasi pada lapisan bawah (mm)

ED : tinggi evapotranspirasi pada lapisan dalam (mm)

UM, LM : batas maksimum evapotranspirasi pada lapisan atas dan bawah (mm)

Kesitimewaan utama yang menjadi ciri khas dari model Xinanjiang adalah konsep *repletion of storage*, yang berarti pada satu daerah tertentu, limpasan baru akan dihasilkan setelah kelembaban tanah sudah mencapai titik maksimum. Untuk memperhitungkan ketidakseragaman spasial dari kondisi tanah yang ada, disusunlah kurva parabolik seperti ditunjukkan oleh Gambar 2. Dewasa ini, terutama melihat perkembangan yang begitu cepat di bidang teknologi spasial seperti sistem informasi geografis, banyak modifikasi untuk memasukkan variasi spasial ke dalam model hidrologi, salah satunya model Xinanjiang. Salah satu contohnya adalah penggunaan kurva parabolik ganda oleh Jayawardena, et al. (1999).



Gambar 2. Kurva Parabolik Distribusi Kelembaban Tanah

Area terarsir (R) menunjukkan limpasan yang dihasilkan pada suatu kondisi yang dimulai setelah kondisi AU, dan kapasitas penyimpanan kelembaban tanah terbatas pada MM. Dengan berbagai kondisi yang ada, jumlah limpasan yang dihasilkan dihitung berdasarkan rumus-rumus yang terhubung di bawah ini.

$$(1 - f/F) = (1 - (W' M)/MM)^B \quad (4)$$

$$MM = WM \times (1 + B)/(1 - IM) \quad (5)$$

Jika $P - (K \times EM) + AU < MM$, maka

$$R = P - (K \times EM) - WM + W + WM \times (1 - (P - (K \times EM) + AU)/MM)^{(1+B)}$$

Jika tidak,

$$R = P - (K \times EM) - WM + W \quad (6)$$

Keterangan:

- R : tinggi limpasan (mm)
 f/F : proporsi dari luasan DAS yang menghasilkan limpasan
 WM, B, IM : parameter model
 MM : batas maksimum kapasitas penyimpanan kelengasan tanah
 P : tinggi presipitasi (mm)
 AU : batas kondisi di mana limpasan mulai dihasilkan (mm)

Setelah limpasan sudah dihasilkan, konsep yang sama digunakan untuk memisahkan limpasan permukaan, aliran antara dan aliran air tanah. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$(1 - f/FR) = (1 - (S' M)/MS)^{Ex} \quad (7)$$

$$MS = SM \times (1 + Ex) \quad (8)$$

$$(1 - S/SM) = (1 - BU/MS)^{(1 + Ex)} \quad (9)$$

Jika $P - (K \times EM) + BU < MS$, maka

$$RS = FR \times \{P - (K \times EM) - SM + S + SM \times (1 - (P - (K \times EM) + BU)/MS)^{(1 + Ex)}\}$$

Jika tidak,

$$RS = FR \times \{P - (K \times EM) - SM + S\} \quad (10)$$

Keterangan:

- f/FR : proporsi dari limpasan yang menghasilkan limpasan permukaan
 SM, Ex : parameter model
 MS : batas maksimum kapasitas penyimpanan air bebas
 BU : batas kondisi di mana limpasan permukaan mulai dihasilkan (mm)

Proses penelusuran banjir dibagi menjadi dua bagian, pada permukaan DAS dan pada bagian saluran. Peta digital dari DAS terkait awalnya dibagi-bagi terlebih dahulu menjadi pias-pias kecil, kemudian perhitungan dilakukan di masing-masing pias sebelum ditelusuri menjadi satu, seperti studi yang sebelumnya dilakukan oleh Liu, et al., (2006). Perhitungan dilakukan dengan persamaan kinematic wave.

$$Q_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 Q_1 \quad (11)$$

$$C_0 = (0.5\Delta t - Kx)/(0.5\Delta t + K - Kx) \quad (12)$$

$$C_1 = (0.5\Delta t + Kx)/(0.5\Delta t + K - Kx) \quad (13)$$

$$C_2 = (-0.5\Delta t + K - Kx)/(0.5\Delta t + K - Kx) \quad (14)$$

Kriteria Evaluasi

Proses kalibrasi model dilakukan secara manual dengan mengiterasi nilai parameter model hingga mendapatkan kecocokan terbaik yang mungkin didapatkan antara debit yang dihasilkan melalui perhitungan dan pencatatan, baik dilihat secara kasat mata ataupun secara kuantitatif. Dalam melakukan proses ini, fungsi tujuan yang digunakan untuk menilai hasil kalibrasinya adalah *Nash-Sutcliffe* dan *relative error*, yang dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$[R^2]_m = 1 - (\sum\{Q_s(ti) - Q_o(ti)\}^2) / (\sum\{Q_o(ti) - (Q_o)\}^2) \times 100\% \quad (15)$$

$$RE = (\sum(V_{obs} - V_{cal}) / \sum V_{obs}) \times 100\% \quad (16)$$

Mengkombinasikan dua fungsi tujuan tersebut, diharapkan bahwa nilai parameter evaluasi *Nash-Sutcliffe* yang dihasilkan mendekati satu, sedangkan sebaliknya, nilai *relative error* mendekati nol. Nilai satu pada evaluasi *Nash-Sutcliffe* menunjukkan simulasi yang berhasil dalam mengestimasi debit rata-rata, sedangkan nilai nol pada *relative error* menunjukkan deviasi nol antara hasil simulasi dan pencatatan.

Pembahasan Debit Tinggi dan Rendah

Pada studi ini, terdapat tambahan pembahasan hasil simulasi untuk memastikan kualitas dari proses kalibrasi model, yaitu pembahasan mengenai debit tinggi dan debit rendah. Kecocokan model untuk mengestimasi debit tinggi dievaluasi dengan menghitung rasio antara deviasi dengan debit pencatatan tertinggi setiap tahunnya. Sedangkan untuk debit rendah, evaluasi dilakukan dengan membandingkan kurva durasi yang terbentuk dari hasil simulasi dan pencatatan. Metode *Weibull* digunakan sebagai bantuan untuk mengkonstruksi kurva durasi, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Probability = m/(n + 1) \quad (17)$$

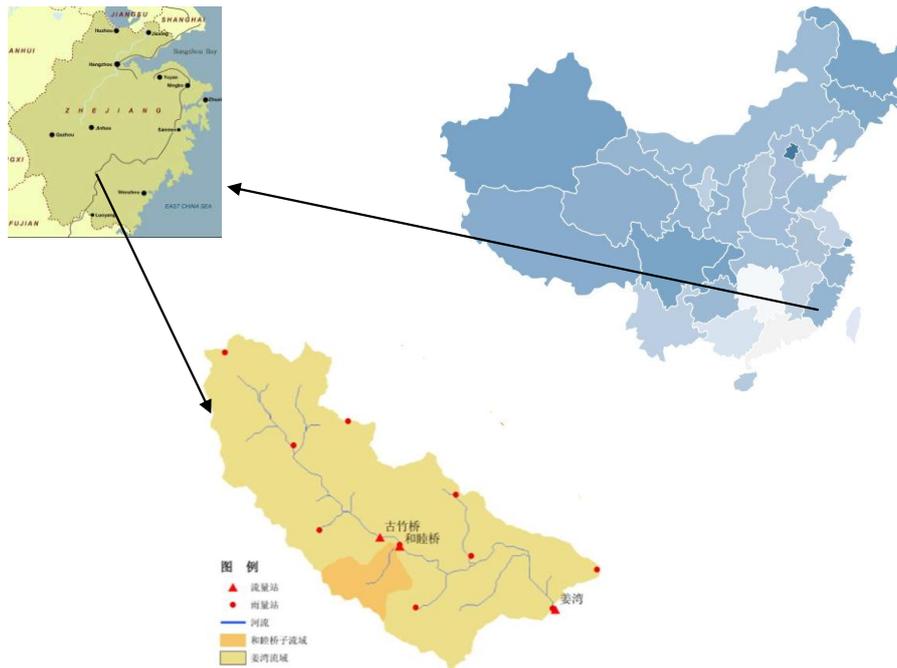
Lokasi Studi

DAS yang diamati pada studi ini bernama DAS Jiangwan, terletak di Provinsi Zhejiang, Negara Republik Rakyat China. Sejak tahun 1957, DAS Jiangwan telah ditetapkan sebagai DAS yang dimanfaatkan untuk keperluan penelitian. Secara geografis, titik keluar DAS Jiangwater terletak pada koordinat 119°50' BT dan 30°35' LU (Liu, et al., 2012), dengan bentuk DAS ditunjukkan pada gambar 3 dibawah. Luas DAS Jiangwan dapat dikategorikan sebagai DAS kecil (20.9 km²). Namun, melihat kapabilitas model Xinanjiang untuk memperhitungkan variasi spasial ke dalam analisisnya, maka analisis pada studi ini menggunakan konsep model hidrologi yang terdistribusi.

DAS Jiangwan, yang terletak di daerah sub-tropis dengan kelembab yang tinggi, memiliki potensi evapotranspirasi yang tinggi pula. Temperatur rata-rata tahunan DAS Jiangwan tercatat berada pada suhu 14.6°C dengan jumlah penyinaran cahaya matahari selama 1579 jam per tahun dan kecepatan angin rata-rata sekitar 1.5 m/s. Dengan kondisi iklim seperti disebutkan di atas, rata-rata tinggi evapotranspirasi tahunan yang terjadi di DAS Jiangwan berkisar pada nilai 805 mm.

Tutupan lahan pada DAS Jiangwan secara umum didominasi oleh hutam bambu yang menutupi sekitar 90% lahan, di mana sisanya ditutupi oleh persawahan, perkebunan the dan penanaman berbagai jenis tumbuhan lainnya. Beberapa pemukiman kecil dapat ditemukan dalam bentuk desa-desa. Dilihat dari susunan tanah dan batuanannya, didapati bahwa lapisan tanah di DAS Jiangwan memiliki kapasitas penyimpanan air yang cukup tinggi. Hal yang menjadi penting untuk diamati adalah kondisi geologi DAS Jiangwan yang sebelumnya telah diteliti oleh Le, et al. (2014). Lapisan dan horizon tanah DAS Jiangwan memiliki banyak patahan yang memudahkan terjadinya aliran air dari permukaan menuju ke lapisan ke bawah permukaan. Seperti yang sebelumnya sudah disebutkan, kondisi geologi suatu DAS sangat berpengaruh terhadap penentuan parameter model hidrologi (Zhao, et al. 1980; Troch, et al. 2002).

Data hidro-meteorologi DAS Jiangwan dicatat oleh Biro Statistik Hidrologi pemerintah Provinsi Zhejiang, dan terlebih dahulu melalui proses validasi kualitas pencatatan data sesuai standar yang ada sebelum dapat digunakan oleh publik (Liu, et al., 2012). Walaupun secara umum, data yang tersedia cukup memadai, namun beberapa data yang hilang masih terlihat, terutama pada pencatatan sebelum tahun 1970. Karena Xinanjiang membutuhkan data kontinyu untuk analisisnya, maka simulasi yang dimasukkan dalam studi ini dimulai dari tahun 1970 hingga tahun 1986. Selain data pencatatan debit, terdapat juga pencatatan hujan harian dari 10 stasiun hujan dengan penyebaran lokasi yang dapat dilihat juga pada Gambar 3. Beberapa hujan yang cukup besar dapat dilihat pada pencatatan, seperti hujan pada tanggal 13 Juni 1984 (hujan tertinggi dengan tinggi 209.8 mm), yang kemudian berkontribusi pada debit tertinggi yang tercatat pada hari esoknya (14 Juni 1984) dengan nilai 30.5 m³/s.



Gambar 3. DAS Jiangwan

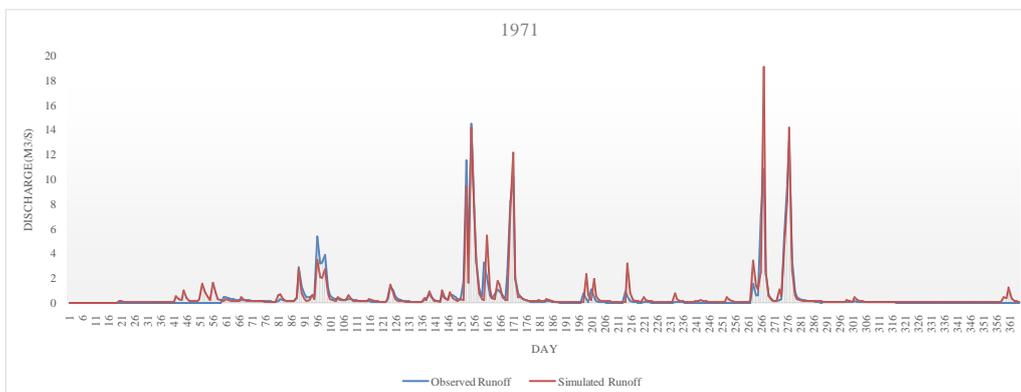
HASIL STUDI DAN PEMBAHASAN

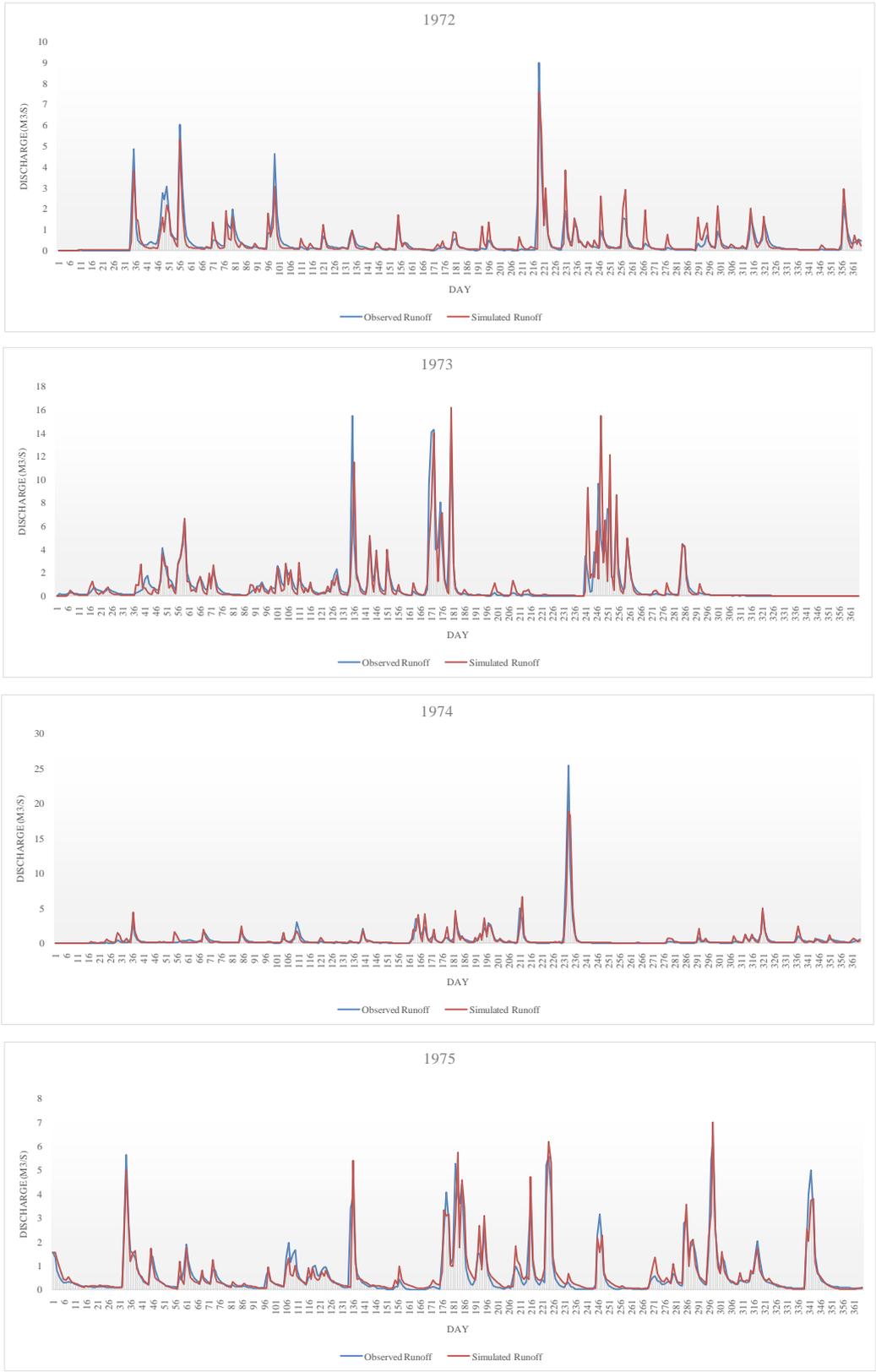
Curah Hujan Wilayah

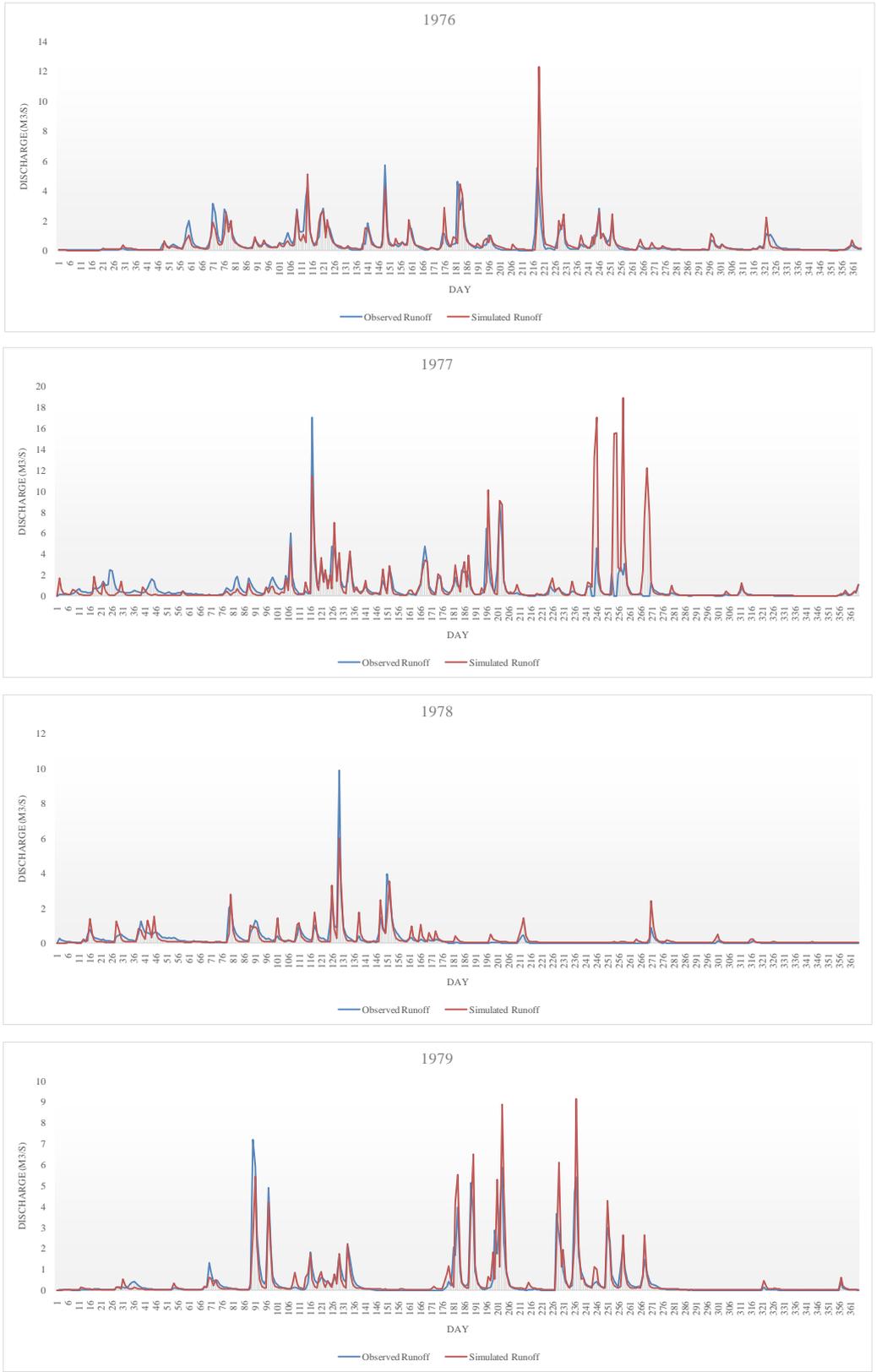
Analisis curah hujan wilayah untuk menentukan satu nilai hujan yang dapat mewakili DAS Jiangwan dilakukan dengan menganalisis luas pengaruh masing-masing stasiun hujan yang ada. Dari hasil analisis, didapat bahwa stasiun yang memberikan pengaruh terbesar adalah stasiun Jiangwan dengan bobot pengaruh 20%, kemudian stasiun He Mu Qiao (15%), Gao Wu Cun (13%), Fan Wu Li (13%), Fo Tang (12%), Gao Wu Ling (8%), Ge Ling 7%), Li Jiao Wu (5%), Tao Shu Ling (4%) dan Yang Shan (3%).

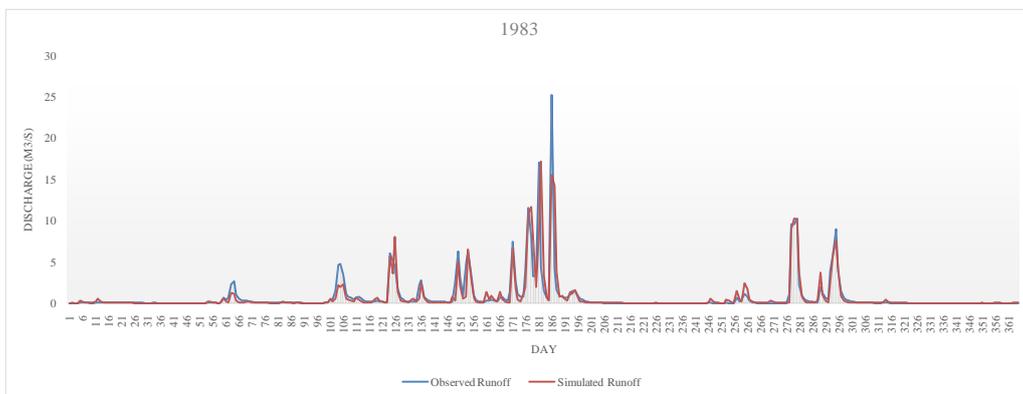
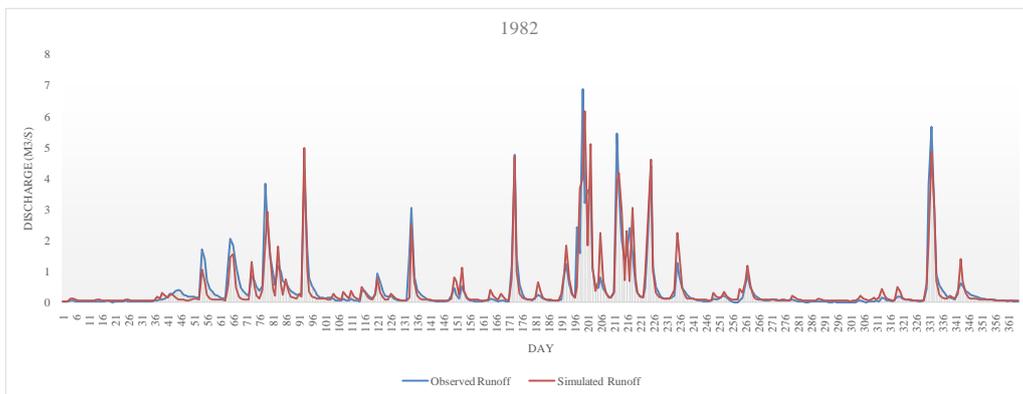
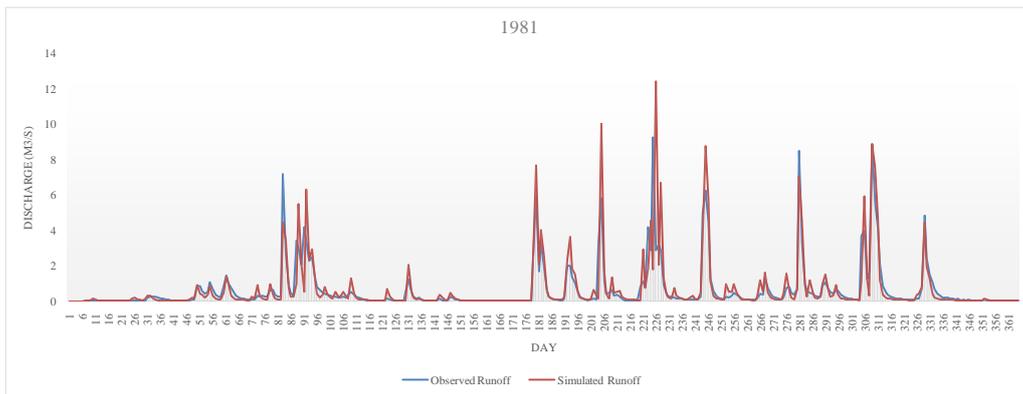
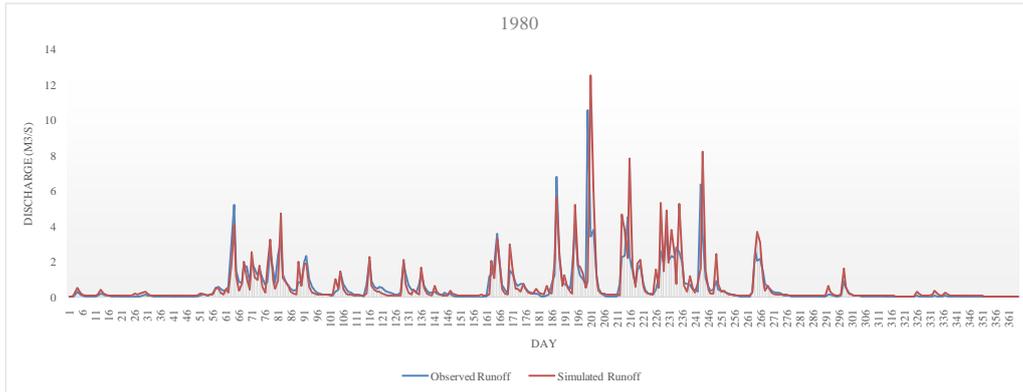
Kalibrasi Parameter

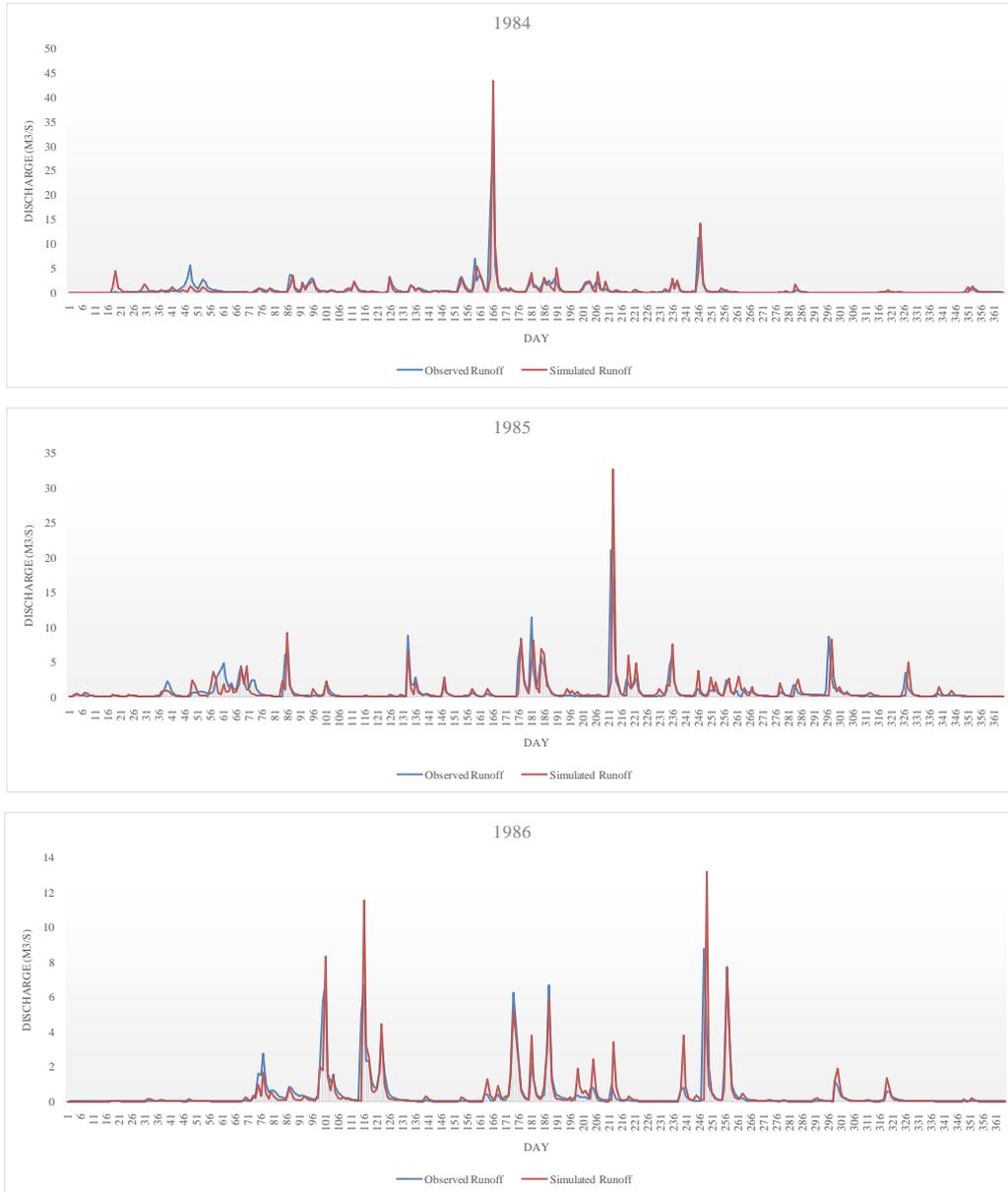
Seperti sudah diketahui bahwa karakteristik hidrologi DAS Jiangwan di permukaan secara relatif tidak berubah karena terbatasnya campur tangan manusia terhadap tata guna lahan yang ada, diharapkan bahwa kalibrasi parameter model Xinanjiang memberikan hasil yang stabil, direfleksikan oleh nilai parameter model yang cenderung konstan. Namun, karakteristik geologi yang ada memberikan toleransi pada perubahan nilai parameter yang berkaitan dengan kondisi di bawah permukaan tanah. Kalibrasi manual dilakukan dengan variasi temporal tahunan, dan hasilnya dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini dengan garis merah adalah hasil simulasi dan garis biru sebagai pencatatan debit kontinyu.











Gambar 4. Hasil Simulasi dari Kalibrasi Manual Tahunan

Secara kasat mata, simulasi model Xinanjiang memberikan hasil yang sangat baik karena hanya terdapat sedikit perbedaan antara debit simulasi dan pencatatan, terutama dari pola naik turunnya debit. Secara umum, besaran nilai debit yang dihasilkan pun cukup baik. Penilaian secara kuantitatif dengan evaluasi *Nash-Sutcliffe* dan *relative error* memberikan nilai seperti dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tahun	Nash-Sutcliffe	Relative Error
1971	0.83502	0.09863
1972	0.77686	0.01239
1973	0.56944	0.02668
1974	0.81488	0.06438
1975	0.81997	0.00430
1976	0.35591	0.00118
1977	-1.38926	0.29617

1978	0.71592	0.06203
1979	0.58711	0.7721
1980	0.21890	0.02512
1981	0.54429	0.06014
1982	0.77485	0.05583
1983	0.69214	0.02576
1984	0.62114	0.05549
1985	0.16006	0.08827
1986	0.38969	0.06111

Secara umum, hasil dari evaluasi yang ada menunjukkan hasil yang memuaskan, terutama dari nilai *relative error*. Terlepas dari hasil yang kurang memuaskan di tahun 1977, nilai *Nash-Sutcliffe* berkisar pada nilai 0.59174 dan *relative error* berkisar pada nilai 0.04790. Pada beberapa tahun seperti 1973, 1976, 1979, 1980, 1981, 1985 dan 1986, nilai *Nash-Sutcliffe* berada di bawah 0.60, namun nilai *relative error* mengkompensasi dengan hasil yang sangat memuaskan. Di seluruh tahun selain 1977, nilai *relative error* selalu kurang dari 0.1, yang menunjukkan hasil simulasi yang sangat baik. Hanya pada tahun 1977, nilai dari *Nash-Sutcliffe* dan *relative error* berturut-turut adalah -1.38926 dan 0.29617. Secara visual, hasil tersebut dikarenakan kegagalan model Xinanjiang untuk mensimulasi respon dari DAS terhadap hujan yang ada. Pola aliran yang didapat cukup berbeda dengan hasil pencatatan, dan terutama kegagalan model dalam mensimulasi debit tinggi memberikan pengaruh yang cukup besar. Simpulan dari proses kalibrasi manual tahunan ini, simulasi menggunakan model Xinanjiang dapat diterima dan dapat diandalkan untuk diaplikasikan sesuai kebutuhan hidrologi.

Pembahasan Nilai Parameter Terkalibrasi

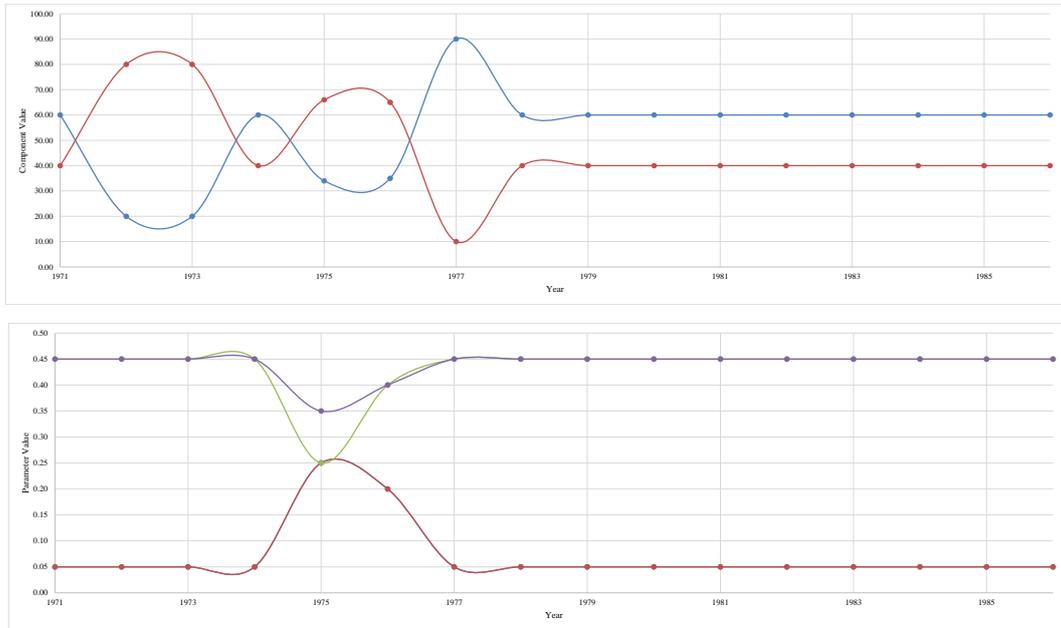
Pada bagian ini, pembahasan mengenai hasil kalibrasi parameter model dievaluasi. Tentu saja, mendapatkan parameter model pada suatu DAS tidak berarti bahwa pemahaman mengenai karakteristik DAS secara menyeluruh telah didapatkan; pembahasan dan pengertian mengenai arti dari nilai-nilai parameter menjadi lebih penting daripada hanya menampilkan suatu angka. Pada Tabel 3 dapat dilihat kompilasi dari nilai parameter tiap-tiap tahun berdasarkan proses kalibrasi parameter yang sudah dilakukan.

Dari Tabel 3 di bawah, dapat dilihat bahwa secara relatif, mayoritas nilai parameter yang digunakan untuk mendapatkan simulasi yang terbaik tidak banyak berubah, yang juga menunjukkan stabilitas parameter model Xinanjiang dalam memodelkan fenomena hidrologi di DAS Jiangwan. Parameter yang tidak berubah adalah parameter yang berhubungan dengan evapotranspirasi (K dan C), penghasilan limpasan (B, WM, IM), pemisahan limpasan (SM, Ex) dan parameter penelusuran aliran (CS dan L). Namun, terdapat juga beberapa parameter yang nilainya berubah, yaitu KG, KI, CG dan CI; di mana semua parameter tersebut berhubungan dengan aliran di bawah permukaan. Terlebih lagi, terdapat dua komponen yang juga berubah nilainya yaitu WUM dan WLM, dan perubahan yang ada terjadi hanya pada periode antara tahun 1975 dan 1978.

Tabel 3. Kompilasi Nilai Parameter Model Xinanjiang

Tahun	K	C	B	WM	WUM	WLM	IM	SM	Ex	KG	KI	CG	CI	CS	L
1971	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1972	0.98	0.2	0.1	130	20	80	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1973	0.98	0.2	0.1	130	20	80	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1974	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1975	0.98	0.2	0.1	130	34	66	0	5	1.2	0.25	0.25	0.25	0.35	0.5	0.6
1976	0.98	0.2	0.1	130	35	65	0	5	1.2	0.20	0.20	0.40	0.40	0.5	0.6
1977	0.98	0.2	0.1	130	90	10	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1978	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1979	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1980	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6

1981	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1982	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1983	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1984	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1985	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6
1986	0.98	0.2	0.1	130	60	40	0	5	1.2	0.05	0.05	0.45	0.45	0.5	0.6

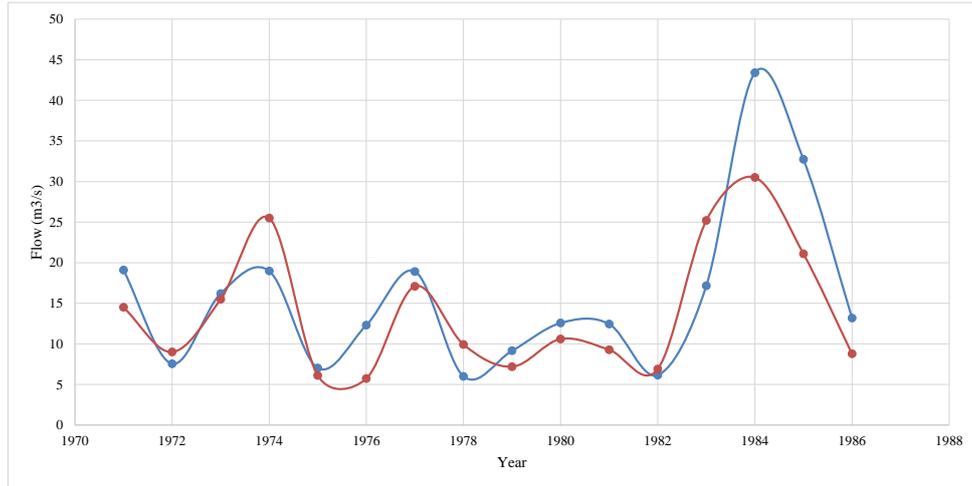


Gambar 5. Perubahan Komponen dan Parameter Model Xinjiang

Perubahan yang terjadi pada komponen WUM dan WLM dari tahun ke tahun sebenarnya mendukung fakta yang ada mengenai perubahan empat parameter lainnya; dan kesemuanya berhubungan dengan aliran antara dan aliran air tanah. Melihat penyebaran parameter dan perubahannya, maka disimpulkan bahwa simulasi model Xinjiang pada bagian presipitasi, infiltrasi, evapotranspirasi dan limpasan permukaan sudah stabil pada model Xinjiang yang diterapkan di DAS Jiangwan. Namun, pola pengaliran di bawah permukaan memberikan parameter yang cukup berfluktuasi, yang didukung oleh kondisi geologi DAS Jiangwan seperti sebelumnya diteliti oleh Le, et al. (2014). Patahan-patahan yang ditemukan pada pengamatan lapangan akan menyebabkan terjadinya kehilangan air permukaan ke lapisan bawah permukaan. Fakta inilah yang kemudian menyebabkan adanya perubahan parameter dan komponen yang ada. Terlebih lagi, perubahan yang terjadi tidak begitu signifikan; perubahan hanya terjadi di tahun-tahun tertentu, dengan kapasitas total maksimum yang tetap.

Pembahasan Debit Tinggi dan Debit Rendah

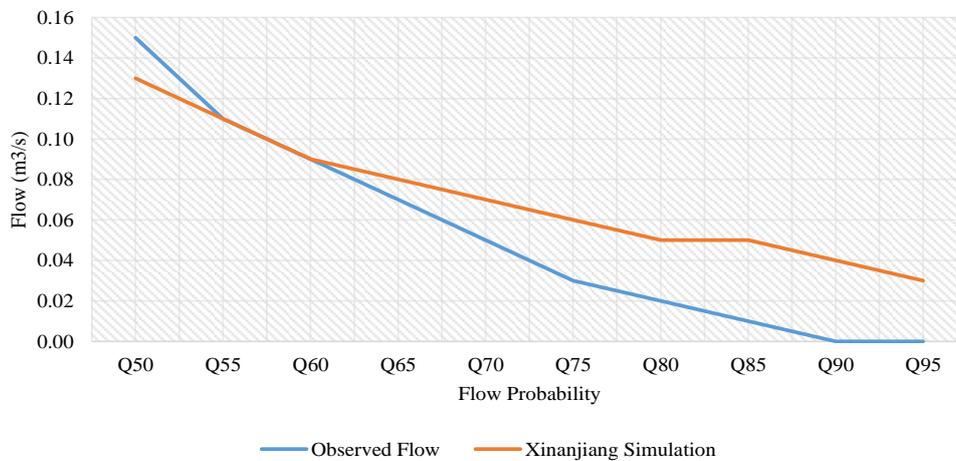
Terkait dengan peramalan debit, maka hal penting yang menjadi latar belakang diperlukannya informasi tersebut adalah pengelolaan bencana terutama menghadapi banjir (debit tinggi) dan kekeringan (debit rendah). Maka dari itu, bagian ini secara khusus membahas kemampuan model Xinjiang untuk mengestimasi baik debit tinggi ataupun debit rendah yang terjadi di DAS Jiangwan. Gambar 6 di bawah menunjukkan nilai debit tertinggi tahunan hasil simulasi (garis biru) dan hasil pengamatan (garis merah). Tabel 4 di bawahnya memberikan informasi kuantitatif evaluasi debit tinggi. Hal yang sama dilakukan untuk debit rendah, dengan Gambar 7 menampilkan hasil *plotting* debit andal dengan tingkat keandalan 50% hingga 75%, dan hasilnya secara kuantitatif dapat dilihat di Tabel 5.



Gambar 6. Debit Tertinggi Tahunan Hasil Simulasi vs Pengamatan

Tabel 4 . Debit Tertinggi Tahunan Hasil Simulasi vs Pengamatan

Tahun	Debit Simulasi (m³/s)	Debit Pengamatan (m³/s)	Penyimpangan
1971	19.09	14.5	31.03%
1972	7.55	9	16.67%
1973	16.2	15.5	4.52%
1974	18.97	25.5	25.88%
1975	7.02	6.11	14.75%
1976	12.31	5.73	115.79%
1977	18.92	17.1	10.53%
1978	6	9.93	39.39%
1979	9.15	7.19	28.17%
1980	12.57	10.6	17.92%
1981	12.44	9.28	34.78%
1982	6.16	6.9	11.59%
1983	17.17	25.2	32.14%
1984	43.41	30.5	42.30%
1985	32.72	21.1	54.98%
1986	13.19	8.78	50.57%



Gambar 7. Kurva Durasi Debit Hasil Simulasi vs Pengamatan

Tabel 5. Debit Andal Hasil Simulasi vs Pengamatan

	Debit Simulasi (m ³ /s)	Debit Pengamatan (m ³ /s)	Penyimpangan
Q ₅₀	0.13	0.15	13.33%
Q ₅₅	0.11	0.11	0.00%
Q ₆₀	0.09	0.09	0.00%
Q ₆₅	0.08	0.07	14.29%
Q ₇₀	0.07	0.05	40.00%

KESIMPULAN

Pada studi ini, stabilitas model Xinanjiang dalam melakukan simulasi aliran air di DAS Jiangwan yang secara relatif tidak berubah diamati. Selain itu, sebagai pengamatan tambahan, hubungan antara karakteristik geologi dengan parameter model Xinanjiang juga diamati. Dari pekerjaan-pekerjaan tersebut, maka beberapa kesimpulan dapat ditarik sebagai berikut:

Dengan menggunakan model Xinanjiang untuk melakukan analisis hidrologi terkait model hubungan hujan – limpasan di DAS Jiangwan didapatkan hasil yang memuaskan, baik secara kasat mata ataupun secara kuantitatif. Hasil evaluasi terbaik adalah nilai *Nash-Sutcliffe* pada nilai 0.83502 (tahun 1971) dan *relative error* pada nilai 0.00118 (tahun 1976).

Simulasi terburuk yang didapatkan ada pada tahun 1977, dengan nilai *Nash-Sutcliffe* dan *relative error* berturut-turut -1.38925 dan 0.29617. Namun, kalibrasi yang dilakukan secara manual tidak dapat memberikan hasil yang lebih optimum lagi. Secara visual, respon limpasan terhadap hujan sudah terlihat baik, namun hasil simulasi menunjukkan nilai yang terlambau tinggi.

Dari seluruh hasil kalibrasi dan simulasi, secara umum parameter model Xinanjiang ditemui stabil, sesuai dengan karakteristik hidrologi di DAS Jiangwan. Parameter yang tidak berubah adalah parameter evapotranspirasi (K dan C), parameter penghasilan limpasan (B, WM, IM), parameter pemisahan limpasan (SM, Ex) dan parameter penelusuran (CS dan L).

Terdapat 4 parameter dan 2 komponen yang berubah selama periode kalibrasi, yaitu KG, KI, CG, CI WUM dan WLM. Dari pengamatan perubahan nilai tersebut, dapat dilihat bahwa perubahan parameter yang ada sesuai dengan kondisi DAS Jiangwan, di mana kondisi geologi DAS Jiangwan menyebabkan adanya aliran dari limpasan permukaan menuju lapisan bawah.

Perubahan WUM dan WLM mendukung perubahan parameter KG, KI, CG dan CI yang terjadi. Baik diperhatikan juga bahwa total kapasitas penyimpanan air (WM) tidak berubah, komponen WUM dan WLM terkait satu dengan lainnya dengan jumlah yang konsisten. Hal tersebut mengindikasikan variasi yang terjadi di bawah permukaan tanah, di saat aliran akhir menuju sungai utama tetap sama.

Menimbang informasi geologi DAS Jiangwan yang memiliki beberapa patahan di bawah lapisan permukaan tanah, hasil studi ini memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi DAS yang sesungguhnya. Dapat disimpulkan bahwa model Xinanjiang tidak hanya stabil untuk digunakan, tetapi juga dapat menggambarkan keadaan DAS Jiangwan dengan baik.

Debit tinggi tahunan yang dihasilkan melalui simulasi memberikan penyimpangan yang cukup berarti ketika dibandingkan dengan debit tinggi pencatatan, dengan rata-rata penyimpangan sebesar 39.05%. Penyimpangan terbesar ditemukan pada tahun 1976 dengan debit hasil simulasi dan pencatatan berturut-turut adalah 12.30 m³/s dan 5.74 m³/s. Sebaliknya, hasil memuaskan terdapat pada simulasi tahun 1973 dengan debit simulasi dan pencatatan berturut-turut adalah 16.20 m³/s dan 15.50 m³/s.

Debit rendah dari hasil kurva durasi mengindikasikan kemampuan model Xinanjiang dalam menggambarkan keadaan yang terjadi. Karena tipe sungai pada DAS Jiangwan diketahui adalah sungai tipe *ephemeral*, yaitu sungai yang mengalir hanya pada musim basah, hasil simulasi yang ada

hanya dilakukan hingga debit dengan keandalan 70%. Penyimpangan hamper 0% ditemukan pada debit dengan keandalan berkisar antara 55% hingga 60%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini didukung oleh National Natural Science Foundation of China (grants 41271040), dan Special Fund of State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering (No. 20145028012).

REFERENSI

- Bronster, A., Niehoff, D., Burger, G. (2002). "Effects of Climate and Land Use Change on Storm Runoff Generation: Present Knowledge and Modeling Capabilities". *Hydrological Processes*. 16, 509-529. DOI: 10.1002/hyp.326
- Hu, T. and Desai, J.P. (2004) Soft-Tissue Material Properties under Large Deformation: Strain Rate Effect. *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Francisco, 1-5 September 2004, 2758-2761.*
- Cheng, C.T., Ou, C.P., Chau, K.W. (2002). "Combining a Fuzzy Optimal Model with A Generic Algorithm to Solve Multi-Objective Rainfall-Runoff Model Calibration". *Journal of Hydrology* 268 (2002) 72-86
- Gan, T.Y., Dlamini, E.M., Biftu, G.F. (1997). "Effects of Model Complexity and Structure, Data Quality and Objective Functions on Hydrologic Modelling". *Journal of Hydrology* 192 (1997) 81-103
- Jayawardena, A.W., Zhou, M.C. (2000). "A Modified Spatial Soil Moisture Storage Capacity Distribution Curve for the Xinanjiang Model". *Journal of Hydrology* 227 (2000) 93-113
- Kuok, K.K., Chan, C.P. (2012). "Particle Swarm Optimization for Calibrating and Optimizing Xinanjiang Model Parameters". *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 3, No. 9, 2012
- Li, H.X., Zhang, Y.Q., Francis, H.S.C. and Xu, S.G. (2009). "Predicting Runoff in Ungauged Catchments by Using Xinanjiang Model with MODIS Leaf Area Index". *Journal of Hydrology* 370, 155-162
- Liden, R. And Harlin, J. (2000), "Analysis of Conceptual Rainfall-Runoff Modelling Performance in Different Climates", *Journal of Hydrology*, 238, 231-247
- Liu, J.T., Chen, X., Zhang, J.B., and Flury, M. (2009). "Coupling the Xinanjiang Model to a Kinematic Flow Model Based On Digital Drainage Networks for Flood Forecasting". *Wiley InterScience* DOI: 10.1002/hyp.7255
- Liu, J.T., Chen, X., Wu, J.C., Zhang, X.N., Feng, D.Z. and Xu, C.-Y. (2012). "Grid Parameterization of a Conceptual, Distributed Hydrological Model through Integration of a Sub-Grid Topographic Index: Necessity and Practicability". *Hydrological Sciences Journal*, 57 (2), 282-297
- Manfreda, S., Fiorentino, M. (2008). "A Stochastic Approach for the Description of the Water Balance Dynamics in a River Basin". *Hydrology and Earth System Sciences*. 12, 1189-1200
- Troch, P., van Loon, E., Hilberts, A. (2002). "Analytical Solutions to a Hillslope Storage Kinematic Wave Equation for Sub-Surface Flow". *Advances in Water Resources* 25(6). DOI: 10.1016/S0309-1708(02)00017-9
- World Meteorological Organization. (2009). "Manual on Low-Flow Estimation and Prediction". *Operational Hydrology Report No. 50. WMO-No. 1029. Koblenz, German.*
- Zhao, R.J., Zuang, Y.L., Fang, L.R., Liu, X.R., Zhang, Q.S. (1980). "The Xinanjiang Model". *Proceedings of the Oxford Symposium, IAHS – AISH Publ. no. 129*