

PENERAPAN MODEL NRECA PADA DAERAH RESAPAN LAPANGAN PANASBUMI WAYANG WINDU, JAWA BARAT

THE APPLICATION OF NRECA MODEL IN THE RECHARGE AREA OF WAYANG WINDU GEOTHERMAL FIELD, WEST JAVA

**Fajar Hendrato¹, Lambok M. Hutasoit², M. Syahril Badri Kusuma³,
Benyamin Sapiie²**

¹ Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti Kampus A Usakti, Gedung D, Jl. Kyai Tapa No.1 Jakarta 11440, Email: f_hendrato@trisakti.ac.id

² Prodi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.

³ Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

ABSTRAK Panasbumi dikenal sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui dan proses pembaruan terjadi di daerah resapan. Makalah ini membahas tentang daerah resapan air meteorik untuk reservoir panasbumi dan rasio debit aliran dasar terhadap debit limpasan permukaan berdasarkan neraca air, yaitu dengan melakukan simulasi hujan-limpasan model NRECA pada Daerah Aliran Sungai (DAS) yang terletak pada kisaran elevasi daerah resapan. Interpretasi berdasarkan peta densitas sesar dan rekahan (FFD) dan peta daerah resapan hasil analisis isotop stabil menunjukkan terdapat tiga zona dengan nilai FFD tinggi yang diperkirakan sebagai daerah resapan untuk reservoir panasbumi Wayang Windu. Untuk mengetahui besarnya debit aliran dasar dan debit limpasan permukaan di daerah resapan tersebut,

maka dilakukan perhitungan berdasarkan neraca air dan pembuatan data debit sintetis untuk zona FFD tinggi. Hasil simulasi hujan-limpasan dengan model NRECA adalah untuk mendapatkan nilai koefisien resapan untuk setiap DAS. Hasil perhitungan rasio antara debit aliran dasar terhadap debit limpasan permukaan pada zona FFD tinggi yang terletak pada DAS Cisangkuy terlihat lebih tinggi (98%) jika dibandingkan dengan dua DAS lainnya, yaitu DAS Cilaki (66%) dan DAS Citarum (43%). Hal ini menunjukkan bahwa zona FFD tinggi yang terletak pada DAS Cisangkuy memiliki debit aliran dasar yang lebih besar dibandingkan pada DAS Cilaki dan DAS Citarum.

Kata kunci: daerah resapan, FFD, hujan-limpasan, neraca air, NRECA.

ABSTRACT Geothermal is known as a renewable energy resource and the renewing process occurs in the recharge area. This paper discusses about the meteoric water recharge area for geothermal reservoir and the ratio of baseflow discharge compared with surface runoff discharge based on water balance, i.e. conducting rainfall-runoff of NRECA model simulation in the Drainage River Area (DRA) which is located in the elevation range of recharge area. The interpretation of FFD map and recharge area map resulting from stable isotope analysis shows that there are three high FFD zones interpreted as recharge areas for Wayang Windu geothermal reservoir. Infiltration analysis has been carried out based on water

Naskah masuk : 26 Januari 2017
Naskah direvisi : 11 Juni 2017
Naskah diterima : 10 April 2018

Fajar Hendrato
Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti Kampus A Usakti, Gedung D, Jl. Kyai Tapa No.1 Jakarta 11440
Email : f_hendrato@trisakti.ac.id

balance and synthetic discharge data for high FFD zone to know the ratio of baseflow discharge and surface runoff discharge in that recharge area. The result of rainfall-runoff simulation by using NRECA model is used to get infiltration coefficient for each DRA. The ratio between baseflow discharge to surface runoff discharge in high FFD zone located in Cisangkuy DRA is higher (98%) than Cilaki DRA (66%) and Citarum DRA (43%). It shows that high FFD zone located in Cisangkuy DRA has higher baseflow discharge than Cilaki DRA and Citarum DRA.

Keywords: recharge area, FFD, rainfall-runoff, water balance, NRECA.

PENDAHULUAN

Panasbumi dikenal sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) dan proses pembaruan terjadi di daerah resapan, di mana air meteorik memasuki suatu sistem panasbumi. Untuk menjamin kelangsungan hidup sumber energi ini, maka daerah resapannya perlu dilakukan konservasi dengan baik. Penelitian tentang aliran airtanah berdasarkan data geokimia fluida untuk lapangan panasbumi Wayang Windu dilakukan oleh Hendrasto dan Hutasoit (2011). Penelitian tentang daerah resapan air meteorik di lapangan panasbumi Wayang Windu telah dilakukan oleh Hutasoit dan Hendrasto (2007); Hendrasto (2005). Penelitian tersebut berdasarkan atas analisis isotop stabil ($\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$) dari sampel air hujan, mataair panas, mataair dingin, fumarol dan fluida dari sumur pemboran panasbumi. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa daerah resapan untuk fluida reservoir panasbumi terletak pada kisaran elevasi 1.314 m – 1.602 m di atas permukaan laut (dpl), yang berada di sebelah barat, selatan dan timur dari area produksi uap panasbumi.

Interpretasi berdasarkan atas peta densitas sesar dan rekahan (*Fault and Fracture Density/FFD*) dan peta daerah resapan hasil analisis isotop stabil menunjukkan terdapat tiga zona dengan nilai FFD tinggi yang diperkirakan sebagai daerah resapan untuk reservoir panasbumi Wayang Windu, dengan arah umum kelurusan timurlaut - baratdaya dan baratlaut - tenggara (Hendrasto et al., 2012). Daerah resapan tersebut terletak di bagian baratlaut (Sungai Cisangkuy), di bagian baratdaya (Sungai Cilaki) serta di bagian timurlaut (Sungai Citarum) dari lapangan panasbumi Wayang Windu.

Pada suatu sistem hidrologi, limpasan atau debit sungai merupakan suatu keluaran (*discharge*) yang tidak terlepas dari masukan (*recharge*) berupa hujan, penguapan, resapan, aliran langsung, aliran di dalam tanah, tata guna lahan dan sebagainya. Maka, dikembangkan berbagai metode untuk mendekati nilai debit, dengan menggunakan asumsi dan pemodelan yang berbeda. Salah satunya adalah pemodelan hujan-limpasan (*rainfall-runoff*) National Rural Electric Cooperative Association (NRECA) yang dikembangkan oleh Normad H. Crawford (1981).

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan dengan menerapkan model NRECA antara lain oleh Herudjito (2005) yang membandingkan aplikasi perangkat lunak Sacramento, Rainrun dan NRECA untuk peramalan debit aliran permukaan. Selain itu pemakaian model deterministik untuk transformasi data hujan menjadi data debit telah dilakukan oleh Setyono (2011). Analisis penyimpangan perkiraan debit telah dilakukan dengan menggunakan model Mock dan Nreca (Tunas dan Lesmana, 2011). Selain itu studi optimasi Embung Tlogo di Kabupaten Rembang juga menggunakan model NRECA (Prawito, 2010). Kalibrasi parameter model Nreca juga telah diterapkan untuk studi kasus Sungai Paguyaman (Alitu, 2007).

Makalah ini mendiskusikan tentang penerapan neraca air menggunakan model NRECA berdasarkan simulasi debit sintesis hujan-limpasan model tampungan untuk menghitung debit aliran dasar (*baseflow*) dan debit aliran di permukaan (*runoff*) pada daerah resapan dengan pola rekahan tidak seragam pada lapangan panasbumi Wayang Windu, Jawa Barat. Untuk mengetahui besarnya rasio debit aliran dasar terhadap debit aliran di permukaan pada daerah resapan tersebut, maka dilakukan perhitungan berdasarkan atas neraca air dan pembuatan data debit sintesis untuk zona FFD tinggi. Hasil simulasi hujan-limpasan tersebut adalah untuk mendapatkan nilai koefisien infiltrasi (peubahan nilai parameter GWF, PSUB, Nominal, dan lain-lainnya) untuk setiap Daerah Aliran Sungai (DAS).

LOKASI DAN GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Lapangan panasbumi Wayang Windu merupakan salah satu lapangan panasbumi aktif di Jawa Barat, yang terletak di antara lapangan panasbumi Kamojang dan Darajat di sebelah timur dan

lapangan panasbumi Patuha di sebelah barat. Secara administratif daerah ini merupakan bagian dari Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung, Jawa Barat, sekitar 40 km di selatan Kota Bandung (Gambar 1).

METODE

Analisis Data Hidrometeorologi

Ketersediaan data hidrometeorologi selama rentang waktu 20 tahun (1991 hingga 2010) berupa data curah hujan harian dan curah hujan bulanan yang berasal dari 15 stasiun pencatatan curah hujan dan data debit sungai yang berasal dari tiga pos duga air yang terletak pada ketiga DAS (Cisangkuy, Cilaki dan Citarum) dapat dilihat pada Tabel 1, berikut lokasi pos duga air dan lokasi DAS pada Gambar 1.

Tabel 1. Ketersediaan data hidrometeorologi.

No.	Jenis Data	Ketersediaan
1	Data curah hujan dari 15 stasiun pencatatan curah hujan	85 %
2	Data debit sungai dari 3 pos duga air (Kamasan, Pataruman dan Cengkong)	75%

Analisis Curah Hujan Wilayah

Data curah hujan wilayah harian dan bulanan selama rentang waktu 20 tahun (1991 hingga 2010) diperoleh dari beberapa stasiun pencatatan curah hujan yang dikelola oleh beberapa instansi, yaitu perkebunan teh PT Perkebunan Nusantara (PTPN) VIII (Persero) meliputi Kebun teh Malabar, Kertamanah, Purbasari, Talun, Santosa, Sedep, Cibatarua, Cileuleuy, Perkebunan teh PT Lonsum Indonesia di Kertasari, PT Indonesia Power dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Lamajan, PLTA Plegan, Situ Cileunca dan Situ Cipanunjang dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) kelas 1 Bandung.

Tahap selanjutnya adalah menentukan curah hujan wilayah yang dimaksudkan untuk mendapatkan harga curah hujan wilayah dengan mengambil harga rata-ratanya. Dalam penelitian ini, pemrosesan data curah hujan dilakukan dengan metode rata-rata aritmatika. Grafik curah hujan rata-rata bulanan selama periode 20 tahun dari ketiga DAS diperlihatkan pada Gambar 2. Dalam satu tahun, rata-rata curah hujan untuk DAS Cisangkuy adalah 2.288 mm, sedangkan untuk DAS Citarum adalah 2.654 mm dan DAS Cilaki adalah 2.452 mm.

Evapotranspirasi Potensial

Tidak tersedianya data evaporasi di stasiun hujan daerah penelitian, sehingga dalam penelitian ini untuk perhitungan besarnya nilai evapotranspirasi potensial menggunakan data dari stasiun BMKG kelas 1 Bandung. Stasiun BMKG tersebut memiliki data terlengkap dan mempunyai karakteristik yang mirip dengan daerah penelitian, dan terletak paling dekat dengan daerah penelitian,

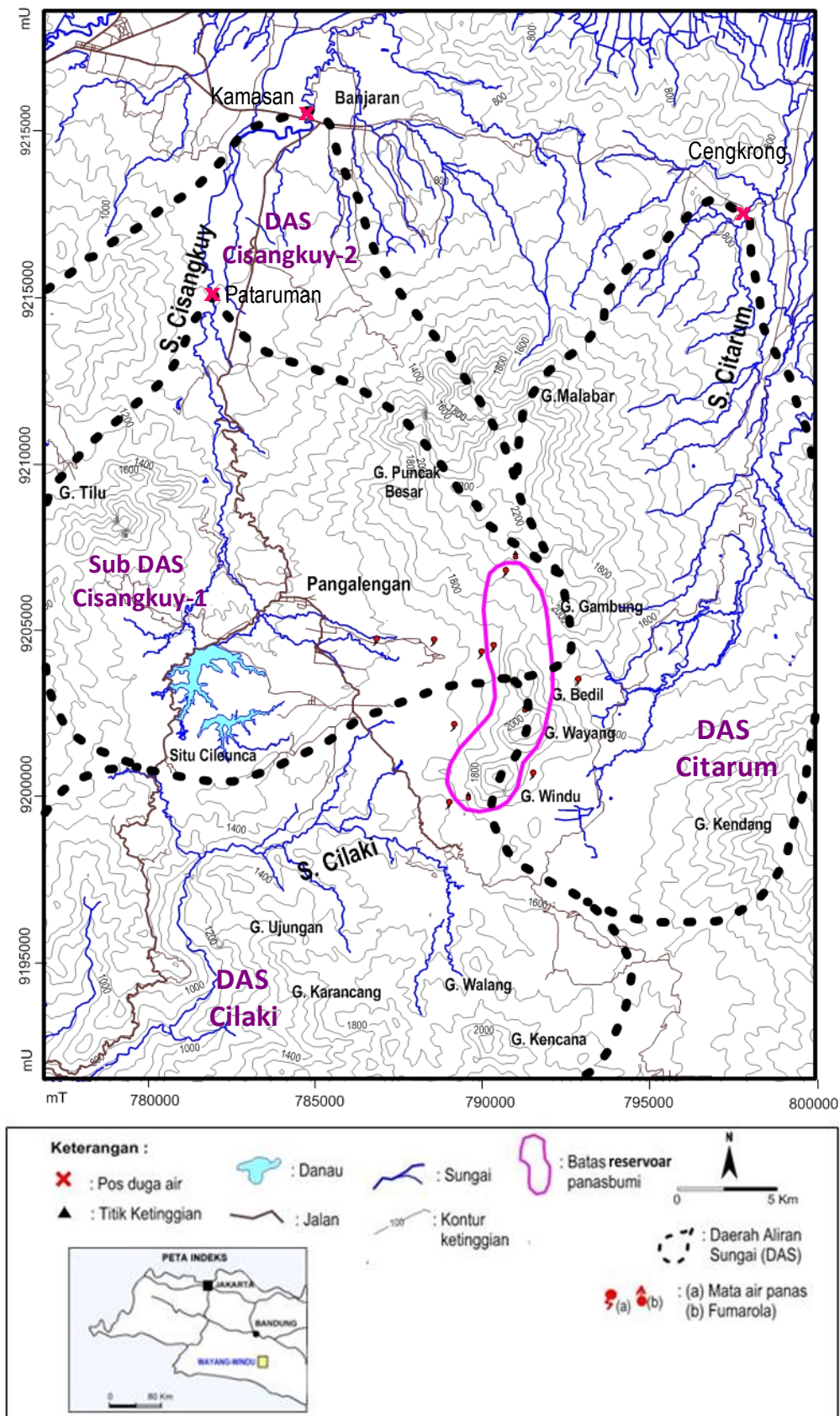
Perhitungan evapotranspirasi potensial dalam penelitian ini menggunakan metode Penman modifikasi (1948) (Doorenbos dan Pruitt, 1977) yang memerlukan lebih banyak parameter atau data terukur, seperti: temperatur udara, kelembaban udara relatif, lamanya penyinaran matahari dan kecepatan angin.

Hasil perhitungan besaran nilai evapotranspirasi potensial dan distribusi bulanan diperlihatkan pada Gambar 3, evapotranspirasi terendah terjadi pada bulan Mei hingga Juni dan evapotranspirasi tertinggi terjadi pada bulan September hingga Oktober.

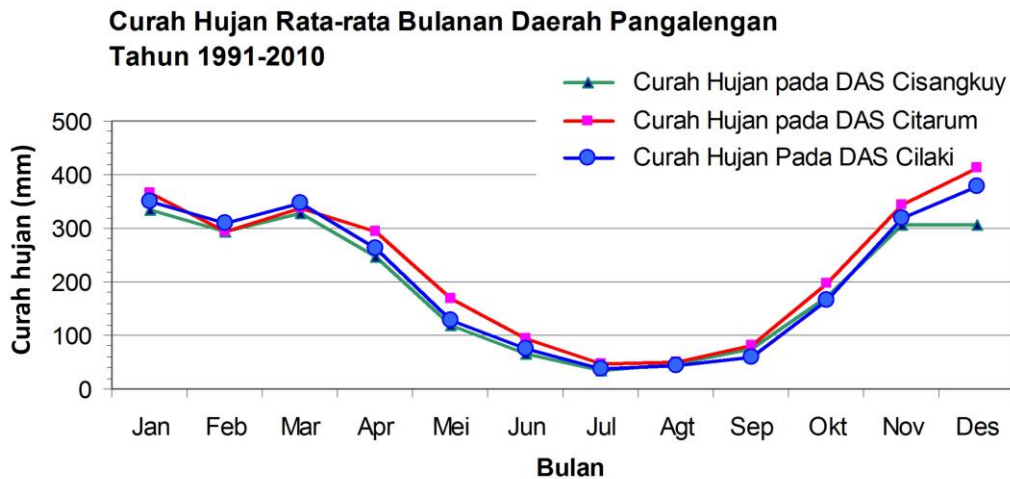
Debit Sungai di Daerah Penelitian

Data debit sungai diperoleh dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (PUSAIR) Bandung dan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum. Periode rekaman data debit sungai antara tahun 1986 hingga 2010 yang digunakan meliputi sungai Cisangkuy, dimana terdapat pos duga air yang terletak di Desa Kamasan, Kecamatan Banjaran dan di Desa Pataruman, Kecamatan Pangalengan, sedangkan untuk Sungai Citarum terdapat pos duga air yang terletak di Desa Cengkong, Kecamatan Ciparay, Kabupaten Bandung (Gambar 1).

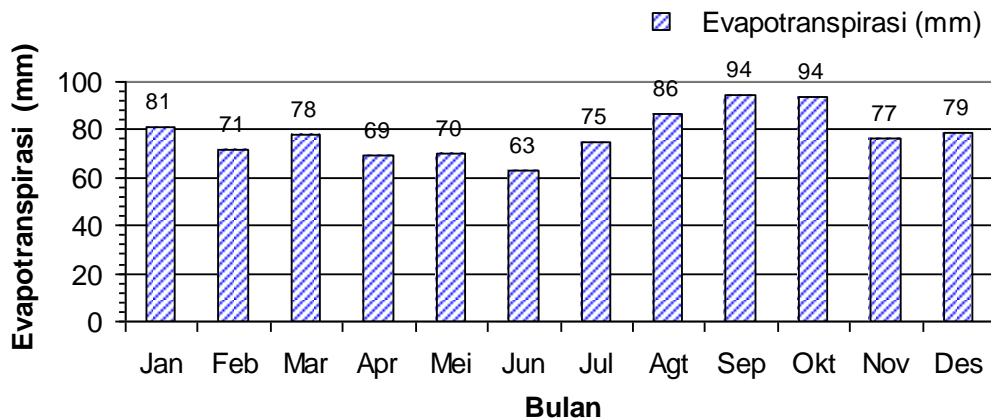
Kalibrasi simulasi untuk DAS Cisangkuy menggunakan data pengukuran (observasi) yang



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.



Gambar 2. Grafik curah hujan rata-rata bulanan.



Gambar 3. Perhitungan evapotranspirasi potensial rata-rata bulanan tahun 1991-2010.

berasal dari pos duga air Pataruman dan Pos duga air Kamasan yang terletak pada aliran sungai yang sama, yaitu Sungai Cisangkuy. Sedangkan kalibrasi simulasi untuk DAS Citarum menggunakan data debit pengukuran dari pos duga air Cengkong yang terletak pada aliran Sungai Citarum. Dikarenakan tidak tersedia data pengukuran debit untuk Sungai Cilaki, maka kalibrasi simulasi untuk DAS Cilaki menggunakan data debit dari Sungai Citarum (pos duga air Cengkong).

Histogram debit aliran rata-rata bulanan dari Sungai Citarum dan Sungai Cisangkuy selama 20 tahun (1991 – 2010) yang digunakan untuk kalibrasi model dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa debit

aliran bulanan rata-rata pada bulan Maret lebih besar dibandingkan pada bulan Agustus.

Simulasi Model NRECA

Perhitungan neraca air dilakukan dengan menggunakan simulasi debit sintesis hujan-limpasan dengan model tampungan, dalam penelitian ini menggunakan model NRECA (Crawford, 1981; IMIDAP, 2009). Sisa dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan bersama aliran dasar bergerak masuk menuju alur sungai. Aliran total yang ada kemudian dikalikan dengan luas DAS. Hasil dari perkalian tersebut merupakan keluaran dari model NRECA yang berupa debit aliran sungai sesuai periode rencana.

Model ini dapat digunakan untuk menghitung debit bulanan dari hujan bulanan berdasarkan

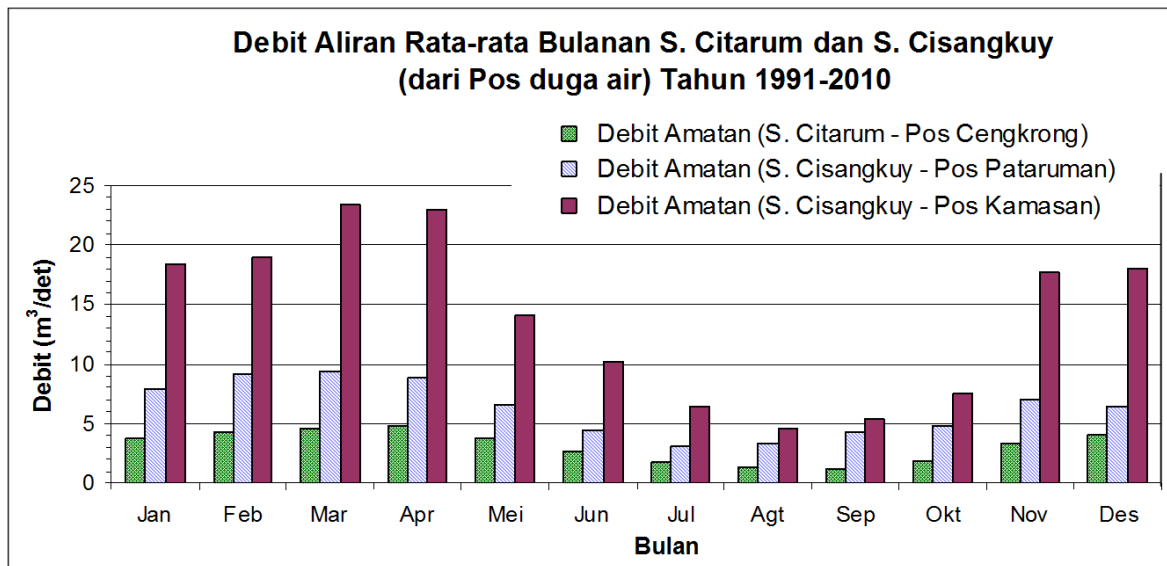
keseimbangan air di DAS. Model NRECA membagi aliran bulanan menjadi dua, yaitu limpasan langsung (limpasan permukaan dan bawah permukaan) dan aliran dasar (Gambar 5).

Debit Sintetis Model NRECA

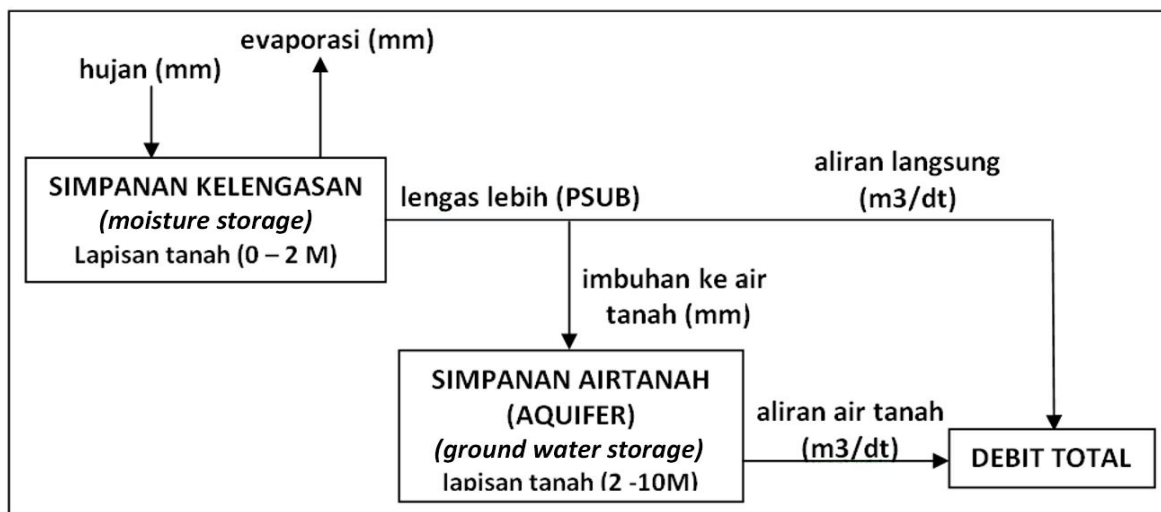
Prosedur atau tahapan dan penentuan parameter karakteristik yang dipergunakan dalam perhitungan debit sintetis dengan model NRECA adalah dengan melakukan pemilihan parameter (*Moisture Storage*, Nominal, PSBU, Begin Stor GW dan GWF) yang dilakukan dengan secara manual atau coba ulang (*trial and error*) hingga

diperoleh nilai koefisien korelasi antara debit aktual dan debit model mendekati nilai = 1 (Crawford, 1981; Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013). Parameter karakteristik adalah sebagai berikut:

Moisture storage: Nilai tampungan kelengasan awal. Nilai ini dimasukkan dan dimulai secara manual dengan cara coba ulang (*trial and error*) dan diperiksa kembali agar nilai *moisture storage* pada bulan Januari mendekati nilai pada bulan Desember. Jika terdapat selisih lebih besar dari >200 mm, maka harus diulangi.



Gambar 4. Histogram debit aliran rata-rata bulanan Sungai Citarum dan Sungai Cisangkuy periode waktu 20 tahun.



Gambar 5. Skema simulasi debit metode NRECA (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013).

NOMINAL: Indeks kapasitas kelengasan tanah pada daerah tangkapan.

$100 + C \times (\text{hujan tahunan rata-rata}).$

dimana: $C = 0,2$, daerah dengan hujan sepanjang tahun.

$C < 0,2$, daerah dengan hujan musiman.

Harga **NOMINAL** dapat dikurangi hingga 25% untuk daerah dengan pertumbuhan terbatas dan penutup tanah yang tipis.

PSUB: Koefisien pengisian tampungan tanah. Parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan pada kedalaman 0 - 2 m.

0,5 : daerah tangkapan hujan yang normal/biasa,
0,5 < PSUB ≤ 0,9 : daerah dengan akuifer permeabel besar (0,9 untuk tanah lulus air),
0,3 ≤ PSUB < 0,5 : daerah dengan akuifer terbatas, lapisan tanah tipis (0,3 untuk tanah kedap air).

BEGIN STOR GW: Tampungan airtanah awal, dilakukan secara manual dan dimulai dengan nilai awal 2.

GWF: Koefisien karakteristik airtanah. Parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan (kedalaman 2-10 m),

$GWF = 0,5$: daerah tangkapan hujan yang normal/biasa,

0,5 < GWF ≤ 0,8 : daerah yang memiliki aliran menerus yang kecil (0,8 untuk tanah kedap air),
0,2 ≤ GWF < 0,5 : daerah yang memiliki aliran menerus yang dapat diandalkan (0,2 untuk tanah lulus air).

Pemodelan ini dilakukan berbasiskan program *spread sheet*. Hasil perhitungan neraca air kemudian digunakan untuk memperkirakan persentase potensi ketersediaan air permukaan dan airtanah dalam daerah resapan air meteorik dari lapangan panas bumi Wayang Windu. Hasil perhitungan ini kemudian digunakan untuk membuat model hidrogeologi yang menggambarkan pola distribusi air pada sistem panas bumi di daerah penelitian. Selanjutnya hasil ini digunakan untuk melakukan sintesis mengenai hubungan antara hasil perhitungan neraca air terhadap besarnya debit aliran dasar dan debit limpasan permukaan pada setiap zona FFD untuk masing-masing DAS.

Tahap awal dalam perhitungan neraca air berdasarkan simulasi hujan–limpasan model tampungan adalah melakukan kalibrasi yang

bertujuan untuk memperoleh parameter model yang akan digunakan pada tahap berikutnya atau tahap verifikasi (Kusuma, 1999). Kalibrasi model yang dilakukan dengan model NRECA dilakukan untuk ketiga DAS dari periode (rentang waktu) dimana terdapat data curah hujan, evapotranspirasi dan debit aliran sungai yang lengkap dan terpilih. Nilai parameter yang didapatkan selama periode kalibrasi, selanjutnya digunakan untuk validasi dan verifikasi model selama rentang waktu 20 tahun. Karena keterbatasan keseragaman data, maka untuk keperluan pemodelan digunakan rentang waktu antara tahun 1991 hingga 2010.

Pembuatan Data Debit Sintetis

Pembuatan data debit sintetis dikembangkan karena jarang data debit observasi, yaitu dengan memanfaatkan beberapa data debit observasi pada titik (observasi) lain selama periode tertentu yang terletak dalam DAS yang sama.

Dalam makalah ini dilakukan pembuatan data debit sintetis pada daerah dengan berbagai nilai densitas sesar dan rekahan (FFD) berbeda yang terletak pada DAS Cisangkuy (Gambar 6). Selanjutnya data sintetis ini dinotasikan sebagai *Qffd*, yang dapat dikembangkan dari metode hidrograf rasional. Besarnya debit aliran permukaan akibat hujan yang turun disuatu DAS dapat didekati dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = C.I.A \quad \dots\dots (1)$$

di mana:

- Q = besarnya debit aliran maksimum (m³/det)
- C = Koefisien pengaliran yang menyatakan persentase curah hujan yang efektif yang membangkitkan debit (non dimensional)
- I = intensitas hujan selama waktu tiba aliran maksimal (mm/jam)
- A = luas tangkapan air (km²)

Dengan menggunakan data dari dua pos pengukuran debit (pos duga air) Sungai Cisangkuy (Pos Pataruman = Q1 dan Pos Kamasan = Q2) dan luas area dari sub Das Cisangkuy-1 (A1) serta sub DAS Cisangkuy-2 (A2), seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Diasumsikan bahwa koefisien C dan I adalah sama sehingga dapat diabaikan, maka untuk menghitung besarnya debit pada zona FFD tinggi (*Qffd*) dapat dilakukan dengan melakukan perbandingan antara besarnya debit (Q) dan luas

DAS (A) dari kedua sub DAS tersebut sebagai berikut:

$$Offd = Q1 - \left(\frac{Q2 - Q1}{A2 - A1} \right) \times (A1 - A_{ffd}) \dots (2)$$

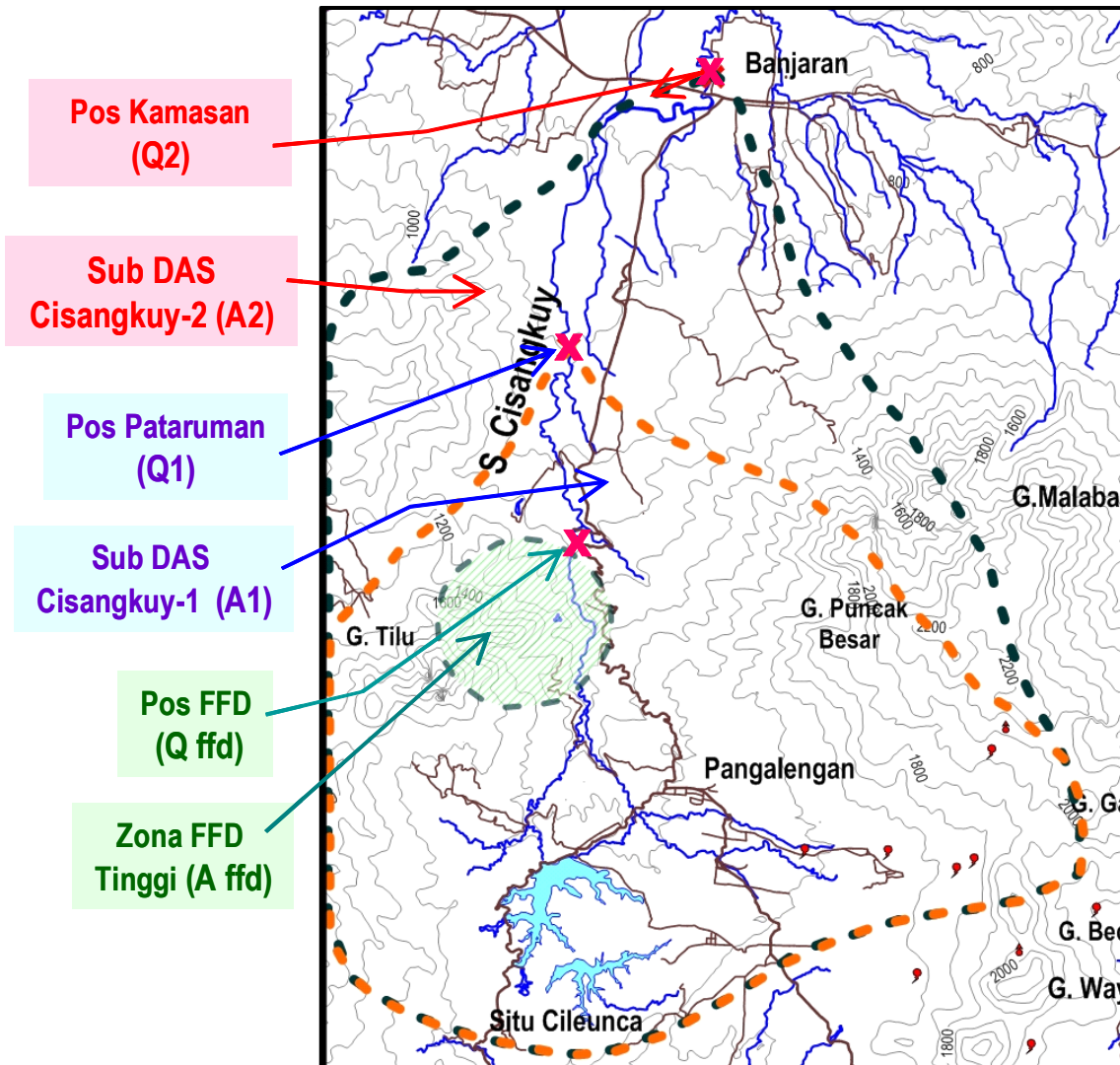
Tahapan pembangkitan debit sintetis:

1. Pembangkitan debit sintetis berdasarkan metode hujan-limpasan yang dikalibrasikan dengan data pengukuran debit observasi yang berasal dari dua titik pengukuran debit observasi pada aliran sungai yang sama
2. Mencari debit *runoff* sintetis persatuan luas pada Daerah Tangkapan Air (DTA)
3. Mencari debit persatuan luas pada zona FFD

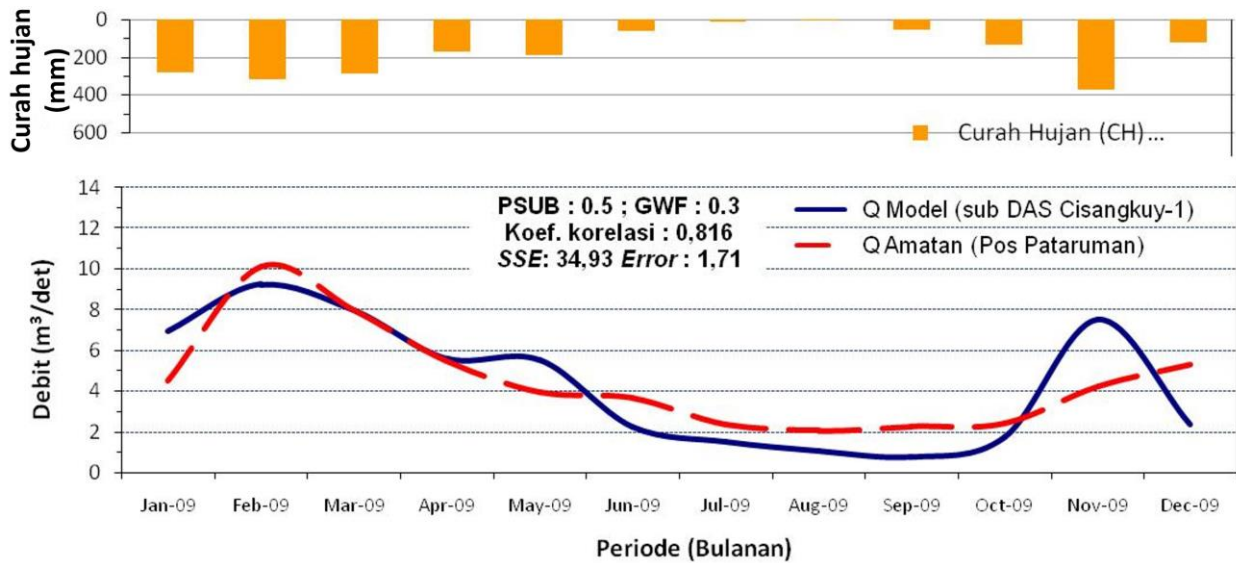
tinggi.

Hasil dari debit sintetis pada DAS yang sama tersebut dapat diestimasi berdasarkan model tumpungan.

Selanjutnya perhitungan debit (Q_{ffd}) ini dapat digunakan sebagai data debit observasi/amatan untuk area dengan FFD tinggi. Data hasil perhitungan (estimasi) ini selanjutnya menjadi dasar validasi dari hasil model terkalibrasi. Data tersebut dapat diterapkan sebagai kalibrasi dalam melakukan simulasi hujan-limpasan model NRECA untuk area dengan FFD tinggi. Kalibrasi data selain diterapkan pada DAS Cisangkuy, juga diterapkan terhadap dua DAS lainnya, yaitu DAS Citarum dan DAS Cilaki.



Gambar 6. Lokasi pengukuran debit sungai pada DAS Cisangkuy.



Gambar 7. Kalibrasi debit bulanan model NRECA tahun 2009 untuk sub DAS Cisangkuy-1.

Tabel 2. Perbandingan untuk parameter (PSUB dan GWF) dari model NRECA serta korelasi antara debit hasil pemodelan dan debit amatan pada tahun 2009.

Area		Luas Area DAS (Km ²)	Parameter NRECA		Korelasi Debit Bulanan
			PSUB	GWF	Q _{Model} terhadap Q _{Amatan}
DAS Cisangkuy	Sub DAS Cisangkuy-1	105	0,50	0,30	0,82
	Sub DAS Cisangkuy-2	255	0,50	0,30	0,88
DAS Cilaki		75	0,40	0,40	0,87
DAS Citarum		60	0,30	0,40	0,76

HASIL DAN PEMBAHASAN

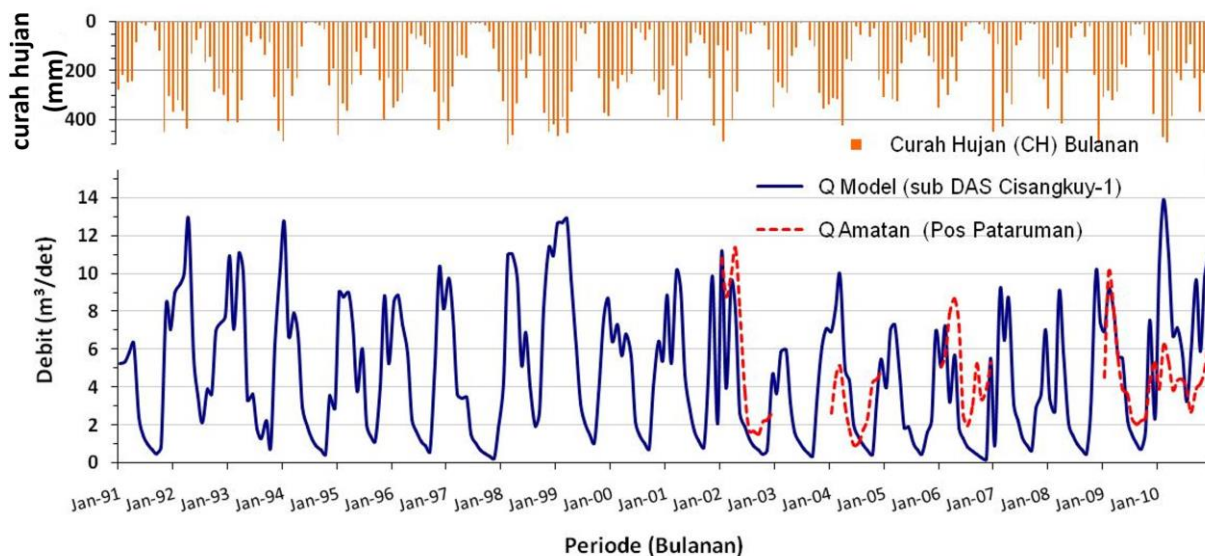
Hasil Simulasi Perhitungan Debit Sintesis Model NRECA

Tahap kalibrasi dengan model NRECA untuk mendapatkan parameter model yang akan digunakan dalam tahapan verifikasi diperlihatkan pada Gambar 7. Kalibrasi model yang dicontohkan untuk sub DAS Cisangkuy-1 tersebut menggunakan data debit dari sebuah pos duga air yang terletak di Desa Pataruman, Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung.

Berdasarkan hasil simulasi dengan model NRECA untuk perhitungan debit bulanan tahun 2009 dari sub DAS Cisangkuy-1, diperoleh hasil kalibrasi dengan koefisien korelasi sebesar 0,82, *Sum of Squared for Error* (SSE) sebesar 34,9 dan error sebesar 1,71. Dari hasil perhitungan antara debit model terhadap debit amatan terdapat korelasi

cukup baik yang terjadi pada bulan Januari 2009 hingga Juni 2009, demikian juga terdapat korelasi yang cukup baik antara data pengukuran debit terhadap data curah hujan seperti diperlihatkan pada Gambar 7.

Parameter-parameter yang diperoleh dari kalibrasi model NRECA tersebut selanjutnya digunakan untuk memodelkan hujan-limpasan Sungai Cisangkuy pada sub DAS Cisangkuy-1 untuk periode 20 tahun, yaitu dari tahun 1991 hingga 2010 seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Kalibrasi untuk memperoleh parameter model dan perhitungan debit sintesis juga dilakukan untuk dua DAS lainnya, yaitu DAS Cilaki dan DAS Citarum. Korelasi antara debit hasil pemodelan dan debit hasil pengukuran untuk debit bulanan dari ketiga DAS menunjukkan hasil korelasi yang baik, yaitu sebesar 0,76 – 0,88, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 8. Contoh hasil simulasi perhitungan debit sintesis dengan model NRECA untuk kurun waktu 20 tahun (1991 s.d. 2010) pada sub DAS Cisangkuy-1.

Hasil simulasi perhitungan debit bulanan dengan model NRECA untuk ketiga DAS dan pada area FFD tinggi dari setiap DAS menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan untuk parameter PSUB (koefisien pengisian tampungan tanah), yaitu sebesar 0,30-0,50 seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai PSUB yang lebih tinggi (0,50) terdapat pada DAS Cisangkuy, sedangkan nilai PSUB lebih rendah (0,40) terdapat di DAS Cilaki dan nilai PSUB paling rendah (0,30) terdapat pada DAS Citarum. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik tanah permukaan berupa tanah lulus air atau daerah dengan akifer permeabilitas besar.

Parameter GWF (koefisien karakteristik air tanah) juga menunjukkan adanya rentang nilai antara 0,30–0,40 seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai GWF tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik tanah berupa tanah lulus air atau daerah yang memiliki aliran menerus yang dapat diandalkan. Nilai GWF kecil menunjukkan bahwa aliran dasar yang berasal dari tampungan airtanah keluar secara perlahan, sehingga volume tampungan berkurang secara berangsur. Sebaliknya jika nilai GWF besar, menunjukkan bahwa aliran dasar cepat keluar dalam jumlah besar dan tampungan airtanah cepat menjadi habis. Nilai GWF yang lebih kecil (0,30) terdapat pada DAS Cisangkuy sedangkan pada DAS Cilaki dan DAS Citarum memiliki nilai GWF yang lebih tinggi (0,40).

Perbandingan antara Debit Aliran Dasar Terhadap Debit Limpasan Permukaan dengan Model NRECA

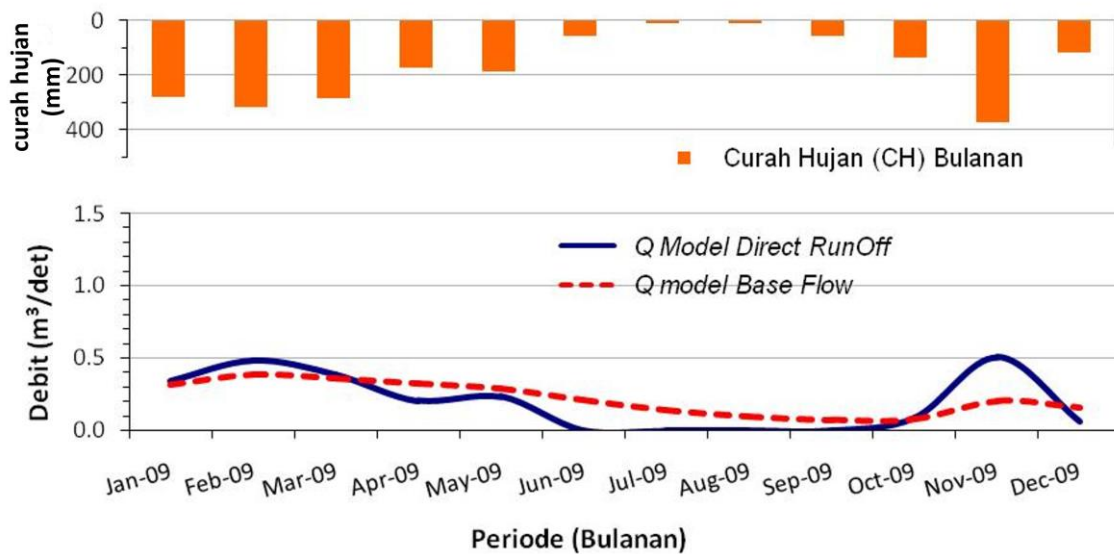
Contoh perbandingan antara debit aliran dasar (*baseflow*) terhadap debit limpasan permukaan (*direct runoff*) dengan model NRECA pada zona FFD tinggi dari DAS Cisangkuy untuk tahun 2009 ditunjukkan pada Gambar 9. Nilai rasio debit sungai maksimum yang terjadi pada musim hujan dan debit minimum yang terjadi pada musim kemarau menunjukkan efektivitas suatu DAS dalam menyimpan kelebihan air pada saat musim hujan yang kemudian dapat dialirkan kembali pada saat musim kemarau. Perhitungan besarnya debit aliran dasar dapat dilakukan dengan menggunakan data debit aliran, yaitu dengan mengasumsikan bahwa debit minimum dari sungai terjadi pada saat debit sungai dominan dipengaruhi oleh air hujan yang telah berinfiltrasi ke dalam tanah.

Indikasi ini juga dapat ditunjukkan oleh kurva debit sungai bersangkutan, dalam hal ini Sungai Cisangkuy (Gambar 9). Semakin besar rasio antara debit aliran dasar terhadap debit limpasan permukaan, maka hal tersebut mengindikasikan bahwa debit yang meresap ke bawah permukaan lebih besar dibandingkan dengan debit yang mengalir di permukaan. Sebaliknya jika rasio antara debit aliran dasar lebih kecil terhadap debit limpasan permukaan, maka hal tersebut mengindikasikan bahwa lebih banyak debit yang

mengalir di permukaan dibandingkan dengan debit yang meresap untuk menjadi aliran dasar.

Tabel 3 memperlihatkan perbandingan debit bulanan antara debit aliran dasar terhadap debit limpasan permukaan dan rasio debit terhadap luas dengan model NRECA untuk setiap zona FFD dari masing-masing DAS. Pada zona FFD tinggi dari DAS Cisangkuy menunjukkan rasio antara debit aliran dasar terhadap debit limpasan permukaan yang lebih tinggi (98%) jika dibandingkan dengan

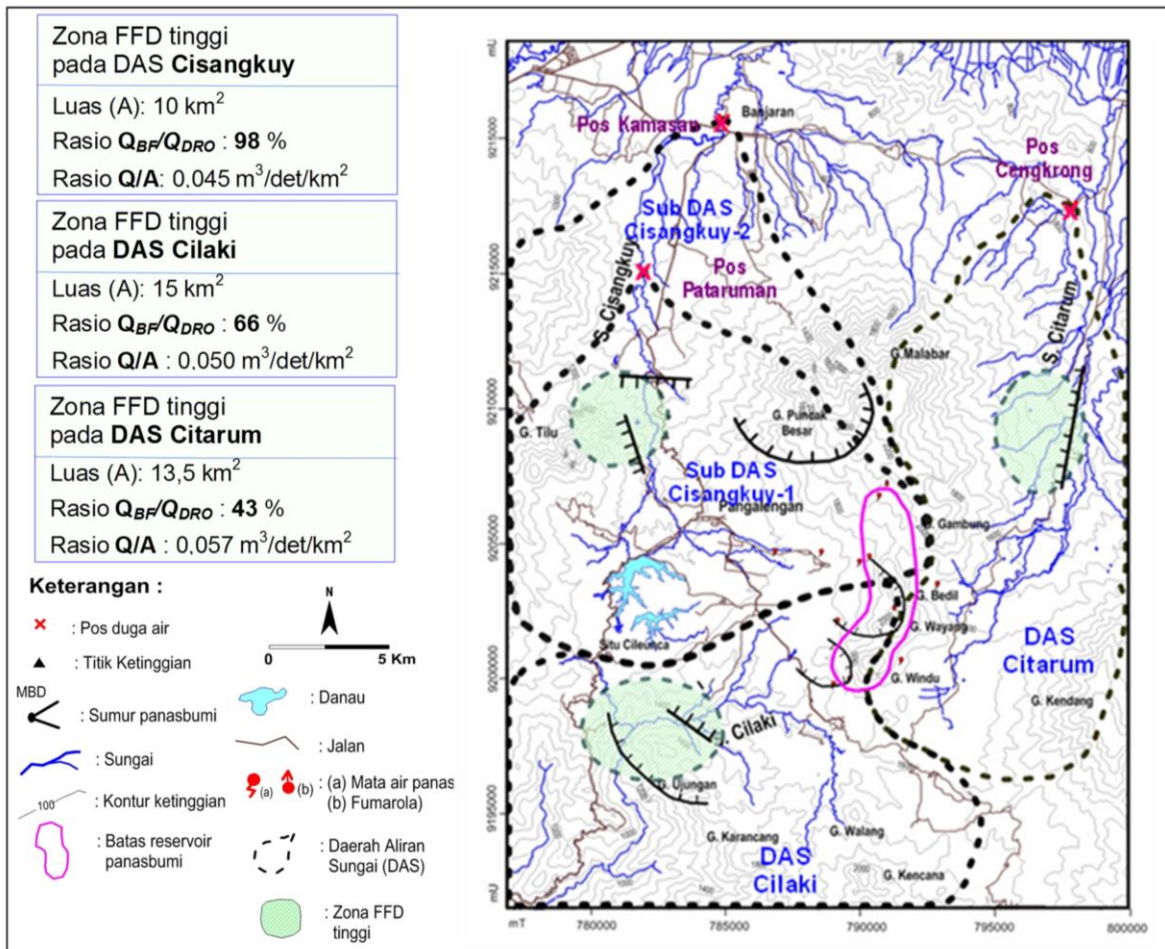
dua DAS lainnya, yaitu DAS Cilaki dengan rasio 66% dan DAS Citarum dengan rasio 43% seperti diperlihatkan pada Gambar 10. Hal ini menunjukkan bahwa debit aliran dasar yang terjadi pada zona FFD tinggi yang terletak di DAS Cisangkuy lebih besar dibandingkan dengan debit aliran dasar pada zona FFD tinggi yang terletak pada DAS Cilaki. Sedangkan debit aliran dasar terkecil terdapat pada zona FFD tinggi yang terletak pada DAS Citarum.



Gambar 9. Perbandingan antara debit aliran dasar (*baseflow*) terhadap debit limpasan permukaan (*runoff*) pada zona FFD tinggi DAS Cisangkuy ditahun 2009.

Tabel 3. Perbandingan rata-rata selama 20 tahun (1991-2010) antara debit aliran dasar (Q_{BF}) terhadap debit limpasan permukaan (Q_{DRO}) dan rasio debit terhadap luas area dengan model NRECA.

Area	Densitas FFD (km/km ²)	Luas DAS (Km ²)	Debit Base Flow (Q_{BF}) (m ³ /det)	Debit Direct RunOff (Q_{DRO}) (m ³ /det)	Rasio Q_{BF}/Q_{DRO}	Debit (Q) Total Flow (m ³ /det)	Rasio Debit/Area (m ³ /det/km ²)
Sub DAS Cisangkuy-1 (FFD Rendah)	0 – 4,9	105	0,50	2,40	98%	4,77	0,045
DAS Cisangkuy	Sub DAS Cisangkuy-2 (FFD Rendah)	0 – 4,9	0,50	5,84	98%	11,63	0,046
	Zona FFD tinggi	5-10	10	0,50	0,22	98%	0,45
DAS Cilaki	DAS Cilaki (FFD rendah)	0 – 4,9	1,51	2,27	66%	3,77	0,050
	Zona FFD tinggi	5-10	15	0,30	0,45	66%	0,75
DAS Citarum	DAS Citarum (FFD rendah)	0 – 4,9	1,02	2,38	43%	3,40	0,057
	Zona FFD tinggi	5-10	13,5	0,23	0,54	43%	0,76



Gambar 10. Perbandingan debit bulanan aliran dasar (Q_{BF}) terhadap debit limpasan permukaan (Q_{DRO}) pada zona FFD tinggi dari setiap DAS dengan model NRECA.

Lebih lanjut, pada Tabel 3 dan Gambar 10 juga memperlihatkan adanya perbedaan rasio antara debit aliran dasar terhadap debit limpasan permukaan terutama untuk setiap zona FFD tinggi (nilai densitas 5-10 km/km²) dari masing-masing DAS yang dikaitkan dengan besarnya intensitas rekahan (Hendrasto, dkk., 2012). Perhitungan debit pada zona FFD tinggi dari DAS Cisangkuy menunjukkan rasio antara debit aliran dasar terhadap debit limpasan permukaan yang lebih tinggi (98%) jika dibandingkan dengan dua DAS lainnya, yaitu DAS Cilaki dengan rasio sekitar 66% dan DAS Citarum dengan rasio 43%.

Hal tersebut menunjukkan bahwa debit aliran dasar yang terjadi pada zona FFD tinggi yang terletak di DAS Cisangkuy lebih besar dibandingkan dengan debit aliran dasar yang terjadi pada zona FFD tinggi yang terletak di DAS Cilaki, sedangkan debit aliran dasar terkecil

terdapat pada zona FFD tinggi di DAS Citarum. Zona FFD tinggi pada DAS Cisangkuy tersebut mempunyai densitas rekahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan densitas rekahan dari kedua DAS lainnya (DAS Cilaki dan DAS Citarum), sehingga debit aliran dasar pada zona FFD tinggi yang terletak pada DAS Cisangkuy juga lebih tinggi dibandingkan dengan aliran dasar yang terjadi pada zona FFD tinggi pada dua DAS lainnya. Perbandingan antara debit terhadap luas area juga dapat dilihat pada Gambar 10. Perhitungan debit ini merupakan debit total yaitu jumlah debit yang berasal dari debit aliran dasar dan debit limpasan permukaan pada setiap aliran sungai terhadap luas area untuk masing-masing zona FFD dari setiap DAS. Semakin besar rasio antara debit terhadap luas area (dalam satuan m³/det/km²) mengindikasikan bahwa debit yang mengalir di permukaan lebih besar dibandingkan dengan debit yang meresap menjadi aliran dasar,

demikian juga sebaliknya. Tabel 3 dan Gambar 10 memperlihatkan bahwa pada zona FFD tinggi yang terletak pada DAS Cisangkuy mempunyai rasio debit terhadap area sebesar $0,045 \text{ m}^3/\text{det}/\text{km}^2$ merupakan debit terkecil dibandingkan dengan rasio debit terhadap area pada zona FFD tinggi yang terletak pada dua DAS lainnya (sebesar $0,050 \text{ m}^3/\text{det}/\text{km}^2$ dan $0,057 \text{ m}^3/\text{det}/\text{km}^2$). Hal tersebut mengindikasikan bahwa air yang mengalir di permukaan pada DAS Cisangkuy lebih kecil dibandingkan dengan yang terdapat pada DAS Cilaki dan Citarum, namun debit aliran dasar yang terjadi pada DAS Cisangkuy lebih tinggi dibandingkan dua DAS lainnya.

KESIMPULAN

Hasil perhitungan rasio antara debit aliran dasar (*baseflow*) terhadap debit limpasan permukaan (*runoff*) pada zona FFD tinggi yang terletak pada DAS Cisangkuy terlihat lebih tinggi (98%) jika dibandingkan dengan dua DAS lainnya, yaitu DAS Cilaki dengan rasio 66% dan DAS Citarum dengan rasio 43%. Hal tersebut menunjukkan bahwa resapan yang menjadi debit aliran dasar yang terjadi pada zona FFD tinggi yang terletak pada DAS Cisangkuy memiliki debit aliran dasar yang lebih besar dibandingkan debit aliran dasar yang terjadi pada DAS Cilaki, sedangkan debit aliran dasar terkecil terjadi pada zona FFD tinggi yang terletak pada DAS Citarum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada Hadi Kardhana, Ph.D., Dr.Eng. Arno Adi Kuntoro, dan Dr.Eng. M. Farid dari Teknik Sumber Daya Air FTSL ITB atas diskusinya dalam pengolahan dan simulasi dengan model NRECA. Terima kasih disampaikan kepada Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd. atas bantuan pengumpulan data, literatur dan di lapangan. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Pusat Litbang Sumberdaya Air (Pusair) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan Balai Besar Wilayah Sungai Citarum yang telah memberikan bantuan data debit aliran sungai, BMKG Kelas 1 Bandung untuk data klimatologi, PTPN VIII Persero dan PT Lonsum Indonesia untuk data curah hujan serta PT Indonesia Power UBP Saguling untuk data curah hujan dan data hidrologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alitu, A., 2007. Kalibrasi Parameter Model Nreca, Studi Kasus Sungai Paguyaman. Jurnal Teknik Universitas Negeri Gorontalo, 5 (2).
- Crawford, N.H., and Thurin, S.M., 1981. Hydrologic Estimates for Small Hydroelectric Projects, NRECA Small Decentralized Hydropower (SDH) Program. International Program Division, Washington DC, USA, 49 pp.
- Direktorat Irigasi dan Rawa., 2013. Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi KP-1. Direktorat Irigasi dan Rawa, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, 230 pp.
- Doorenbos, J., and Pruitt, W.O., 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, 145 pp.
- Hendraso, F., Agustan, Hutasoit, L.M., dan Sapiie, B., 2012. The Application of Interferometry Radar Technique to Determine Recharge Area of Wayang Windu Geothermal Field, Pangalengan, West Java. Proceeding of 1st ITB Geothermal Workshop, Institut Teknologi Bandung.
- Hendraso, F., dan Hutasoit, L.M., 2011. Peruntukan Aliran Airtanah Berdasarkan Interpretasi Data Geokimia Fluida pada Lapangan Panasbumi Wayang Windu, Jawa Barat. Bulletin Ilmiah Mineral dan Energi MINDAGI, 2 (1).
- Hendraso, F., 2005. Penentuan Daerah Resapan Sistem Panasbumi Gunung Wayang Windu, Jawa Barat. Thesis, Jurusan Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung.
- Herudjito, A.S., 2005. Studi Aplikasi Perangkat Lunak Sacramento, Rainrun dan Nreca untuk Peramalan Debit Aliran Permukaan. Skripsi, Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.
- Hutasoit, L.M., dan Hendraso, F., 2007. Daerah Resapan Lapangan Panasbumi Wayang Windu Berdasarkan Kandungan Isotop ^{18}O dan 2H Fluida. Jurnal JTM 14 (2), 67-77.

- Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP)., 2009. Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi, Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 75 pp.
- Kusuma, M.S.B., 1999. Studi Potensi Sumber Daya Air untuk PLTA Malabar, Laporan penelitian, LP ITB – PTPN VIII Jabar, (tidak dipublikasikan).
- Prawito, A., 2010. Studi Optimasi Embung Tlogo di Kabupaten Rembang. *Neutron* 10 (2), 32-41.
- Setyono, E., 2011. Pemakaian Model Diterministik untuk Transpormasi Data Hujan Menjadi Data Debit pada DAS Lahor. *Media Teknik Sipil* 9 (1), 17-28.
- Tunas, I. G., dan Lesmana, S. B., 2011. Analisis Penyimpangan Perkiraan Debit Menggunakan Model Mock dan Nreca. *Infrastruktur*, 1 (1), 54-62.