

POTENSI SUMBERDAYA AIR UNTUK PENGEMBANGAN PLTMH DI DAS CISADANE HULU BERDASARKAN PEMODELAN HIDROLOGI SWAT

Iwan Ridwansyah^a, Hidayat Pawitan^b, Naik Sinukaban,^b dan Yayat Hidayat^b

^a *Pusat Penelitian Limnologi-LIPI*

^b *Institut Pertanian Bogor*

E-mail: iwanr@limnologi.lipi.go.id

Diterima: 3 Maret 2015, Disetujui: 1 Juni 2015

ABSTRAK

Pada saat ini energi listrik merupakan kebutuhan yang penting di Indonesia. Akibat pertumbuhan penduduk yang tinggi, kebutuhan listrik rakyat Indonesia akan bertambah 7 – 9% setiap tahunnya. Pada tahun 2010 rasio elektrifikasi secara nasional adalah 65% sedangkan di Jawa Barat mencapai 69,9%. Energi listrik tidak hanya digunakan untuk penerangan tetapi juga untuk menjalankan aktivitas mata pencaharian. Tidak hanya daerah perkotaan, tetapi masyarakat pedesaan yang tinggal di daerah pegunungan juga membutuhkan energi listrik. Wilayah pegunungan biasanya mempunyai kemiringan lereng yang terjal dengan sungai-sungai yang mengalir sepanjang waktu. Kondisi tersebut berpotensi untuk dikembangkannya pembangkit listrik mikrohidro (PLTHM). Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi potensi sumberdaya air DAS Cisadane Hulu untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Penelitian ini menggunakan aplikasi hidrologi model Soil and Water Assesment Tools (SWAT) yang mengkalkulasi hujan sebagai input dan diproses pada sistem DAS yang kemudian output model berupa debit, loading sediment dan kualitas air. Dengan model hidrologi yang tervalidasi didapat luaran debit yang kemudian dianalisis untuk mencari debit andalan 80%. Hasil simulasi model dan analisis debit andalan menunjukkan DAS Cisadane Hulu mempunyai banyak potensi energi listrik yang dibangkitkan dengan PLTMH, dua SubDAS klasifikasi PLTA skala kecil, yaitu; SubDAS di Desa Cisarua dengan debit andalan 5,63 m³/detik dan beda tinggi 67 m berpotensi menghasilkan 3.511 kW, kebutuhan volume reservoir sebanyak 22,8 x 10⁶ m³ dan SubDAS di Desa Bantarkaret dengan debit andalan 3,85 m³/detik dan beda tinggi mencapai 39 m berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 1.398,6 kW dengan kebutuhan tampungan air sebesar 9,3 x 10⁶ m³. Sedangkan SubDAS lainnya masuk dalam klasifikasi minihidro (100 kW – 1000 kW).

Kata Kunci : DAS, energi listrik, Mikrohidro, Model SWAT.

ABSTRACT

POTENTIAL OF WATER RESOURCES FOR MICRO HYDRO DEVELOPMENT IN UPSTREAM CISADANE CATCHMENT AREA BY SWAT HYDROLOGY MODEL.

Electrical energy is an important energy source used in daily life. Consumption of electrical energy has increased 7-9% annually as the population grow. In 2010, the national electrification ratio was 65%, while in West Java the ratio has reached to 69.9%. Electrical energy is consumed not only by urban but also rural communities who live in mountainous areas. The area normally has a steep slope with rivers flow continuously. The condition has a potency for the development of micro-hydro power plant. The purpose of this study was to identify the water resources potential in the upstream of Cisadane watershed for developing micro hydro power plants. This study used the application of hydrological models of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) which calculated rain as an input and discharge as an output. Discharge was obtained from validated hydrological model which further analyzed for dependable discharge of 80%. Results of the simulation model and dependable discharge showed many potential electrical energy; two sub-catchment was classified as small-scale hydropower, namely: Sub-catchment of Cisarua Village with dependable discharge of 5.65 m³/sec at 67 m gradient head which generated 3,511.8 kW of electrical energy, reservoir volume needed for optimum discharge was 22.8 x 10⁶ m³. While in Bantarkaret (68 km²), dependable discharge was 3.85 m³/sec at gradient head of 39 m which generated electrical energy about 1,398.6 kW with water storage requirement of 9.3 x 10⁶ m³. Another sub-watershed was classified as mini-hydro power plants (generate electrical energy at 100 kW - 1000 kW).

Keywords: Energy, electrical, watershed, hydrological model, SWAT.

PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan dasar bagi umat manusia. Beberapa aktivitas manusia akan terganggu ketika ketersediaan energi listrik tidak mencukupi. Kondisi ini pula yang saat ini tengah dialami oleh bangsa Indonesia. Telah terjadi krisis listrik di beberapa daerah, antara lain di luar Jawa yaitu mulai tahun 2001 dan Jawa-Bali mulai tahun 2004. Hal ini diindikasikan dengan sering terjadinya pemadaman secara bergiliran di sebagian kota di Indonesia. Jumlah daya terpasang oleh PT. Indonesia Power di tahun 2011 untuk Sistem Jawa Bali sebesar 8.996,11 MW, akan tetapi Kebutuhan listrik di Indonesia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia (Indonesia Power, 2011). Dalam rangka untuk menaikkan area pelayanan dan meningkatkan rata-rata kelistrikan, Indonesia harus meningkatkan kapasitas produksi listrik 9,2% setiap tahunnya sampai dengan 2027.

Akibat pertumbuhan penduduk yang tinggi, kebutuhan listrik rakyat Indonesia akan bertambah 7 – 9% (PWc Indonesia, 2011). Pada tahun 2010 rasio elektrifikasi nasional adalah 65% dan sekitar 69,9% untuk propinsi Jawa Barat. Rasio ini lebih rendah dibandingkan beberapa provinsi lain di Pulau Jawa yang rasio elektrifikasinya rata-rata sudah di atas 70%, walaupun masih lebih tinggi dari beberapa provinsi lain di Pulau Sumatera dan Sulawesi (Jumartin, 2012). Daerah-daerah yang tidak terjangkau aliran listrik dijumpai di daerah-daerah pegunungan yang merupakan hulu dari DAS dan biasanya merupakan daerah pedesaan. Sulitnya menyalurkan energi listrik ke wilayah pedesaan di pegunungan tidak hanya karena faktor jarak dari jaringan listrik yang sudah ada, tetapi juga karena medan yang sulit akibat bukit yang terjal dan wilayah hutan. Morfologi wilayah demikian menyimpan potensi pengembangan energi listrik, karena mempunyai potensi sumberdaya air yang tinggi yang mengalir hampir sepanjang tahun.

Sebagian besar pembangkit yang terpasang di Indonesia merupakan

pembangkit berbahan bakar tidak terbarukan, misalnya bahan bakar minyak atau batubara. Padahal cadangan minyak di Indonesia sudah mulai menipis dan suatu saat akan habis. Saat ini, Indonesia sudah mulai mengimpor minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Cadangan batubara Indonesia memang cukup besar tetapi suatu saat nanti akan habis juga.

Penggunaan energi alternatif terutama untuk memenuhi kebutuhan energi di pedesaan, dimana sebagian desa masih sulit dan secara ekonomis sulit terjangkau oleh jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN), haruslah dikembangkan. Purwanto *et al.* (2009) mengembangkan model desa mandiri berbasis mikro hidro dengan tujuan: (1) Memanfaatkan potensi sumber daya air setempat untuk dikonversi menjadi sumber energi listrik, (2) Memberdayakan perekonomian masyarakat setempat dengan memanfaatkan listrik sebagai sumber energi untuk meningkatkan nilai tambah produk atau jasa yang dihasilkan oleh masyarakat setempat, dan (3) Melestarikan hutan melalui pencegahan penebangan liar dan penanaman pohon di areal kritis di sekitar lokasi yang ditujukan sebagai penyimpan air. Mikrohidro tidak hanya memenuhi kebutuhan listrik untuk penerangan, tetapi juga dapat digunakan untuk menunjang kegiatan produktif skala kecil seperti pengolahan hasil pasca-panen dan industri kerajinan rakyat (Widodo, 2012). PLTA juga dapat mendukung adaptasi terhadap bencana hidrologi dengan memperkuat kemampuan suatu wilayah untuk mengatur dan menyimpan air dalam menanggulangi banjir dan kekeringan (World Bank, 2009).

Indonesia mempunyai potensi pembangkit listrik tenaga air (PLTA) sebesar 70.000 mega watt (MW). Potensi ini baru dimanfaatkan sekitar 6 persen atau 3.529 MW atau 14,2 persen dari jumlah energi pembangkitan PT PLN (Ratnata *et al.*, 2013). Provinsi Jawa Barat memiliki sumber daya air yang melimpah. Sebagian besar wilayah Jawa Barat memiliki curah hujan 2000-3000 mm per tahun.

Pemanfaatan energi *hydropower* ada tiga jenis, yaitu: Pembangkit Listrik Tenaga

Air (PLTA), Pembangkit listrik Minihidro (PLTM) dan Pembangkit Listrik Mikro Hidro. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air sungai yang ditahan oleh bendungan, dimana bendungan tersebut memiliki ketinggian tertentu yang membuat air memiliki energi potensial yang dapat menggerakkan turbin sehingga energi potensial dapat ditransformasikan menjadi energi mekanik dan kemudian menjadi energi listrik oleh generator. Pembangkit ini mampu menghasilkan daya lebih dari 5 - 100 KiloWatt (kW). Pembangkit listrik Mini Hidro merupakan Pembangkit listrik skala lebih lebih besar dengan energi listrik yang dihasilkan antara 100 kW – 1 MW.

SWAT merupakan model hidrologi yang dapat menghitung debit berdasarkan curah hujan. SWAT merupakan model yang memiliki kompleksitas menengah dan bisa digunakan untuk analisis kontinu. Selain itu model ini bisa menganalisis dengan baik ketika tata guna lahan beragam (Neitsch, 2009). Model hidrologi ini sudah banyak digunakan dalam kajian PLTMH baik dalam

perencanaan maupun untuk pengelolaan. Patil *et al.* (2013) mengidentifikasi daerah yang sustainable dalam pengembangan pembangkit listrik di DAS Bennihalla, India. Sedangkan Khan *et al.* (2014) menggunakan hidrologi model SWAT untuk pengembangan dan pengelolaan sumberdaya air irigasi dan pembangkit listrik di DAS Indus Hulu, Pakistan.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi potensi sumber daya air yang bisa digunakan sebagai pembangkit listrik dengan pendekatan unit DAS dan menggunakan pemodelan hidrologi SWAT di DAS Cisadane hulu.

METODE

Lokasi Penelitian

Kajian ini lakukan di DAS Cisadane hulu yang secara administrasi bagian dari Kabupaten Bogor (Gambar 1). DAS ini terletak pada koordinat $106^{\circ} 28' 43'' - 106^{\circ} 56' 43,7''$ BT dan $6^{\circ} 28' 33,9'' - 6^{\circ} 47' 6,2''$ LS, sebagian DAS Cisadane hulu juga merupakan kawasan Taman Nasional (TN), yaitu; TN Gede-Pangrango dan TN Salak-Halimun.



Gambar 1. Daerah penelitian

Kebutuhan Data

Kebutuhan data pemodelan hidrologi dengan Model SWAT untuk mengkaji potensi sumber daya air yang dapat dikembangkan untuk PLTMH terdiri dari data spasial dan attribute, seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Untuk keperluan ketersediaan air perlu diketahui informasi tentang air andalan atau debit andalan berdasarkan debit minimum sungai dengan besaran tertentu yang mempunyai kemungkinan memenuhi kebutuhan air (Triatmojo, 2009). Debit andalan pada kajian ini dilakukan secara

Tabel 1 .Kebutuhan data potensi pengembangan PLTMH

No	Tipe Data	waktu	Resolution/ skala	Sumber
1	Peta penggunaan lahan	2010	10 m	Citra IKONOS
2	Digital Elevation Model	2005	30 m	USGS (SRTM-Level 2)
3	Peta Jenis Tanah	-	1 : 100.000	Puslittanak
4	Data Iklim	2005-2010	Harian	BMKG
5	Karakteristik tanah	-	-	Puslitanak dan pengambilan sampel
8	Data Debit	2001-2010	harian	PU dan PLTA
9	Data Suhu (maks-min)	2001-2010	Harian	BMKG
10	Data hujan	2001-2010	harian	BMKG

Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

PLTMH dapat memanfaatkan sumber air yang tidak terlalu besar. Tidak seperti PLTA, dengan atau tanpa reservoir pun PLTMH dapat beroperasi, karena dapat memanfaatkan potensi air yang kecil (Susanto & Subekti, 2009). Menurut William & Porter (Sentanu, 2013) klasifikasi jenis Pembangkit Listrik Tenaga Air sesuai dengan kapasitas pembangkitan sebagai berikut; 1) PLTA skala besar > 100 MW, 2) PLTA skala menengah 10 – 100 MW, 3) PLTA skala kecil 1 – 10 MW, 4) PLTM (Minihidro) 100 KW – 1 MW, 5) PLTMH (Mikrohidro) 5 KW – 100 KW, 6) Piko Hidro < 5 KW

Daya (*power*) yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga air dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$P = g.H.Q.n \text{ (kW)}$$

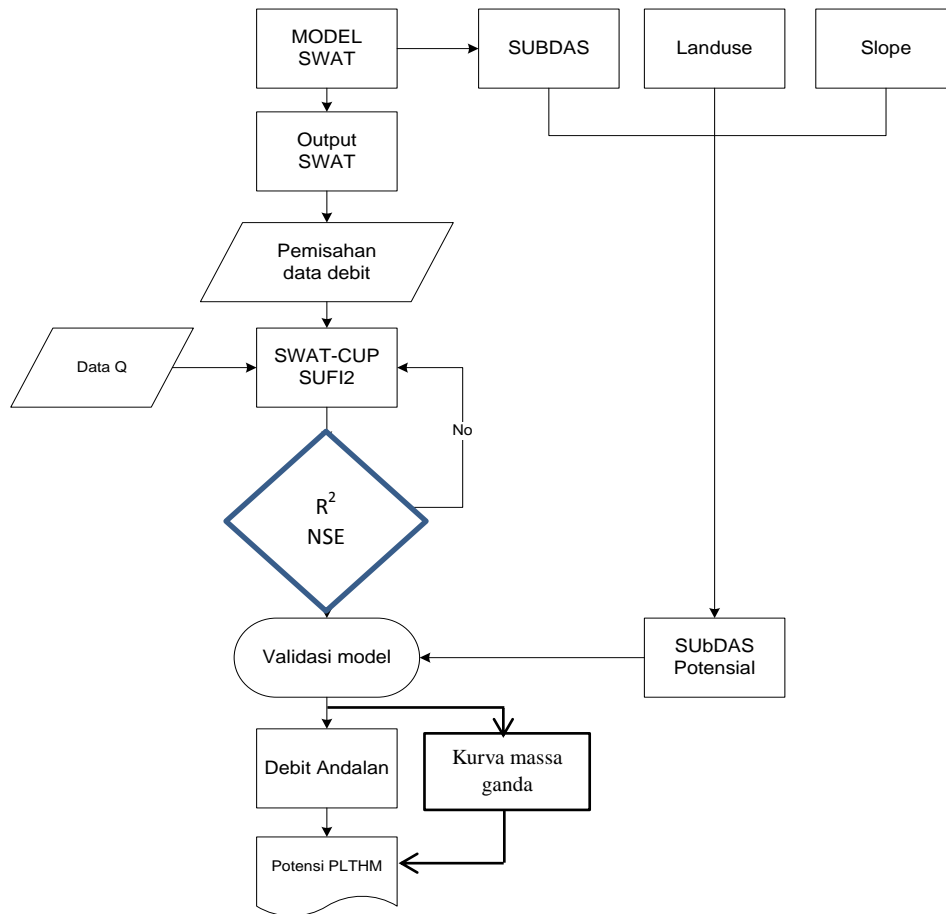
dimana :

- P : Daya teoritis yang dikeluarkan (kW),
- H : Tinggi jatuh air efektif (m),
- Q : Debit air (m³/s),
- g : Gravitasi (m/s²) dan
- n : Efisiensi pembangkit listrik.

spasial dan diwakili oleh sub-DAS yang dibentuk oleh pemodelan hidrologi. Debit andalan merupakan hal yang penting dalam menghitung potensi mikrohidro. Penghitungan debit andalan penting dilakukan karena sepanjang tahun debit yang mengalir di sungai-sungai berbeda. Untuk membangkitkan generator pembangkit listrik tenaga mikrohidro ditetapkan ketercapai debit andalan 80% atau tidak terpenuhinya 20% pada serangkaian waktu (Sentanu, 2013). Sedangkan untuk menghitung kebutuhan tampungan air reservoir menggunakan kurva massa debit. Potensi sumber daya ini biasa dimanfaatkan untuk dikembangkannya sumber-sumber pembangkit energi. Gambar 2 memperlihatkan diagram alir penelitian.

Karakterisasi dan Prediksi Debit Aliran dengan model SWAT

Dalam mengkaji potensi mikrohidro menggunakan model SWAT diperlukan data meteorologi maupun geologi. Pada penelitian ini menggunakan data curah hujan, suhu, topografi (DEM), data tutupan lahan dan jenis tanah. Untuk memvalidasi dan kalibrasi model digunakan juga data pengamatan debit. Dalam kajian ini menggunakan debit hasil pengamatan yang dilakukan oleh Balai Wilayah Sungai (BWS Ciliwung-Cisadane) di stasiun debit Batubeulah.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Identifikasi potensi SubDAS-SubDAS di Cisadane hulu

Pemilihan lokasi-lokasi yang berpotensi sebagai PLTMH menggunakan aplikasi system informasi geografis dengan metoda tumpang susun (*overlay*), dimana data-data yang digunakan adalah: Digital Elevasi Model (*DEM*), Kemiringan lereng (*SLOPE*), peta jaringan sungai, peta distribusi pemukiman dan peta kawasan hutan. Pemilihan menggunakan aturan: kemiringan lereng lebih besar dari 30%, jarak dengan pemukiman penduduk tidak lebih dari 500 meter dan diluar kawasan hutan/Taman Nasional.

Analisis Hidrologi dengan Model Hidrologi SWAT

Ketersediaan air terutama dikontrol oleh tingkat curah hujan. Namun, karena penguapan dan infiltrasi tidak semua curah hujan menjadi limpasan dan debit sungai. Persentase limpasan dan basin discharge koefisien biasanya bervariasi, mulai dari

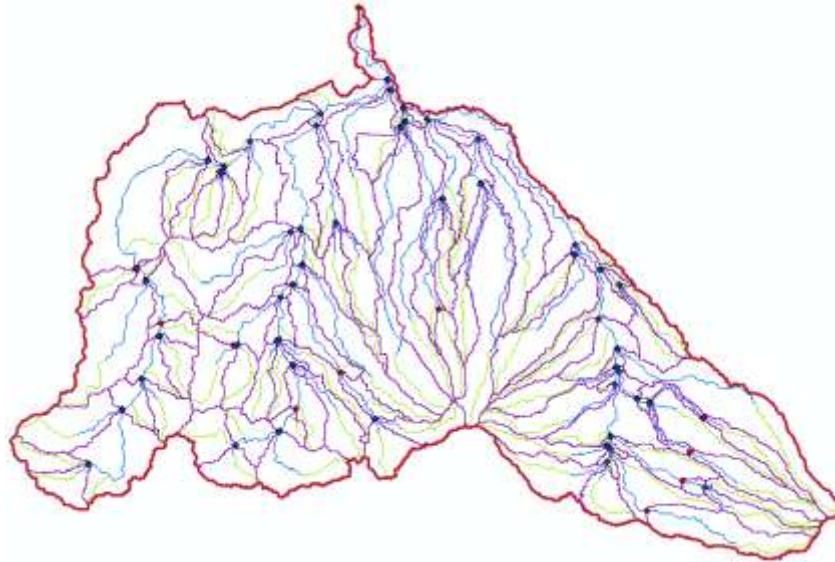
kurang dari 20%-25% sampai dengan mendekati 100% (Singh, 1992 & Chow *et al*, 1988). Selain itu, penyimpanan sementara air di wilayah sungai memperkenalkan distorsi signifikan dari time series curah hujan ketika diterjemahkan ke dalam debit sungai. Di DAS bagian hulu yang umumnya daerah pedesaan informasi monitoring debit air sungai masih sulit didapatkan, sehingga neraca air dapat dinyatakan dengan hubungan pemodelan hidrologi, yang dapat menghitung potensi debit sungai yang terbagi dalam subDAS-SubDAS kecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN Hasil Pemodelan Hidrologi SWAT

Langkah pertama dalam pemodelan dengan menggunakan model SWAT adalah membentuk subdas-subdas di SubDAS Cisadane Hulu dengan menggunakan Automatic Watershed Deleniation (AWD). Proses ini menggunakan data SRTM30 (30m x 30m), sedangkan titik outlet model pada

stasiun debit Batubeulah yang dikelola oleh BWS Ciliwung-Cisadane. Proses AWD menggunakan threshold 1000 Ha dan membagi DAS menjadi 113 subdas. Gambar 3 memperlihatkan hasil proses pembentukan SubDAS-SubDAS di Cisadane Hulu.

masing subDAS, yang kemudian dianalisis debit andalannya dengan capaian debit 80% dan kebutuhan akan tampungan air menggunakan kurva massa debit (Gambar 5). Masing-masing subDAS menjadi dasar dalam perhitungan potensi energi yang akan



Gambar 3. Pembagian SubDAS di DAS Cisadane hulu

Hasil Identifikasi SubDAS-SubDAS di Cisadane Hulu dengan Analisis Keruangan

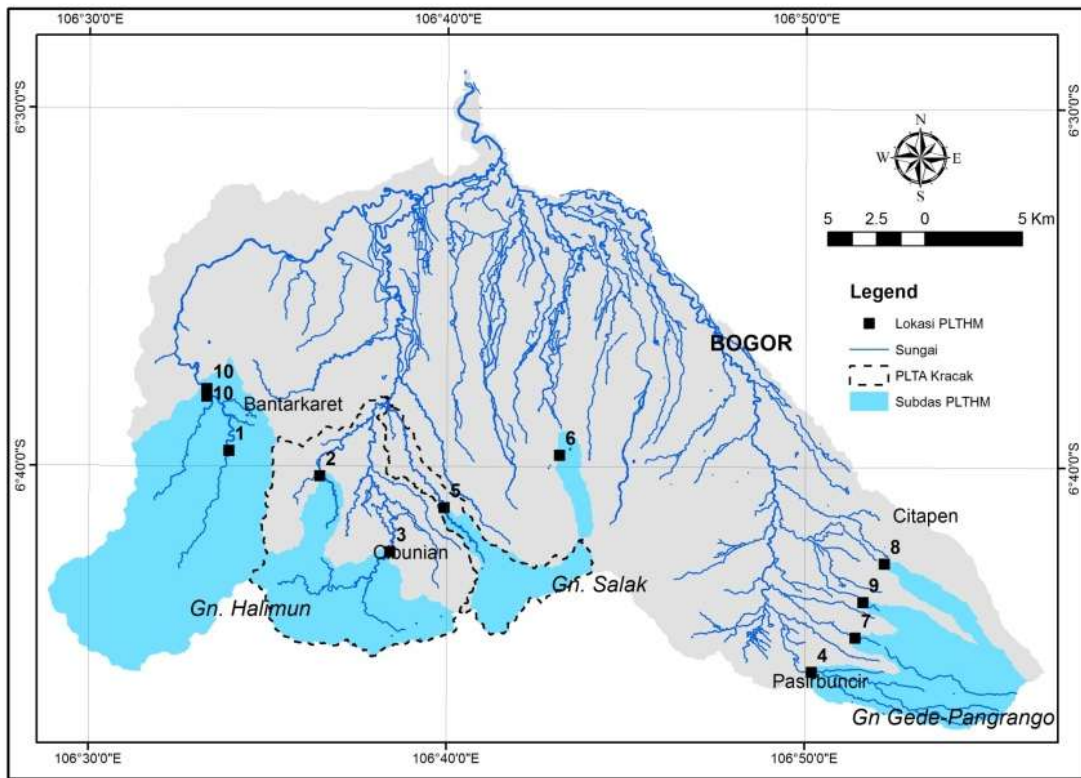
Hasil pembentukan subDAS dengan menggunakan AWD pada aplikasi model SWAT menghasilkan 113 subDAS, kemudian peta distribusi subDAS ini ditumpang susun dengan data kemiringan lereng dan distribusi pemukiman yang dibuffer dengan jarak 500 m untuk mendapatkan subDAS-SubDAS yang berpotensi dikembangkan PLTMH. Dari hasil analisis spasial didapat 10 subDAS yang berpotensi kemudian data beda tinggi dan jarak didapatkan dari data DEM, sedangkan data lokasi didapatkan dari peta administratif. Tabel 2 memperlihatkan subdas-subdas yang berpotensi dikembangkan PLTHM dan distribusi lokasi diperlihatkan pada Gambar 4.

Hasil Analisis Potensi sumber daya air untuk Pengembangan PLTMH

Salah satu luaran dari model hidrologi SWAT adalah debit dari masing-

dihasilkan. Potensi energi listrik dan debit andalan di Cisadane Hulu beserta kebutuhan tampungan air (reservoir) diperlihatkan pada Gambar 5.

Hasil analisis menunjukkan dua subDAS masuk dalam klasifikasi PLTA skala kecil (1 mW - 10 mW), yaitu; SubDAS-10 (Desa Cisarua) dengan debit andalan $5,63 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan beda tinggi 67 m berpotensi menghasilkan 3.511,8 kW, kebutuhan volume reservoir sebanyak $22,8 \times 10^6 \text{ m}^3$. SubDAS-1 (Desa Bantarkaret) yang mempunyai debit andalan $3,85 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan beda tinggi mencapai 39 m berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 1.398,6 kW dengan kebutuhan tampungan air sebesar $9,3 \times 10^6 \text{ m}^3$. SubDAS-SubDAS lain di DAS Cisadane hulu masuk dalam klasifikasi minihidro dengan potensi energi yang dapat dihasilkan antara 100–1000 kW. Dari pengamatan dilapangan sudah ada pembangunan PLTMH pada subDAS-3 yang merupakan aliran sungai Cikuluwung dan salah satu sungai yang menggerakkan turbin di PLTA Cikracak.



Gambar 4. Lokasi potensi PLTMH di DAS Cisadane Hulu

Tabel 2. Sub-Das berpotensi PLTHM di Cisadane hulu

PLTMH	Luas (km ²)	Elevasi bendung (m dpl)	Elevasi Turbin (mdpl)	Beda Tinggi (m)	Jarak Intake-Turbin	Lokasi (Desa)
1	68.00	469	430	39	800	Bantarkaret
2	6.14	465	439	26	800	Bantarkaret
3	36.62	650	608	42	800	Cibunian
4	17.07	547	511	36	800	Pasirbuncir
5	17.59	634	579	55	800	Ciasmara
6	5.50	527	484	43	600	Gunungmalang
7	13.02	578	517	61	600	Cinagara
8	6.65	596	551	45	420	Citapen
9	9.95	595	547	48	500	Lemahduhur
10	101.29	378	311	67	1700	Cisarua

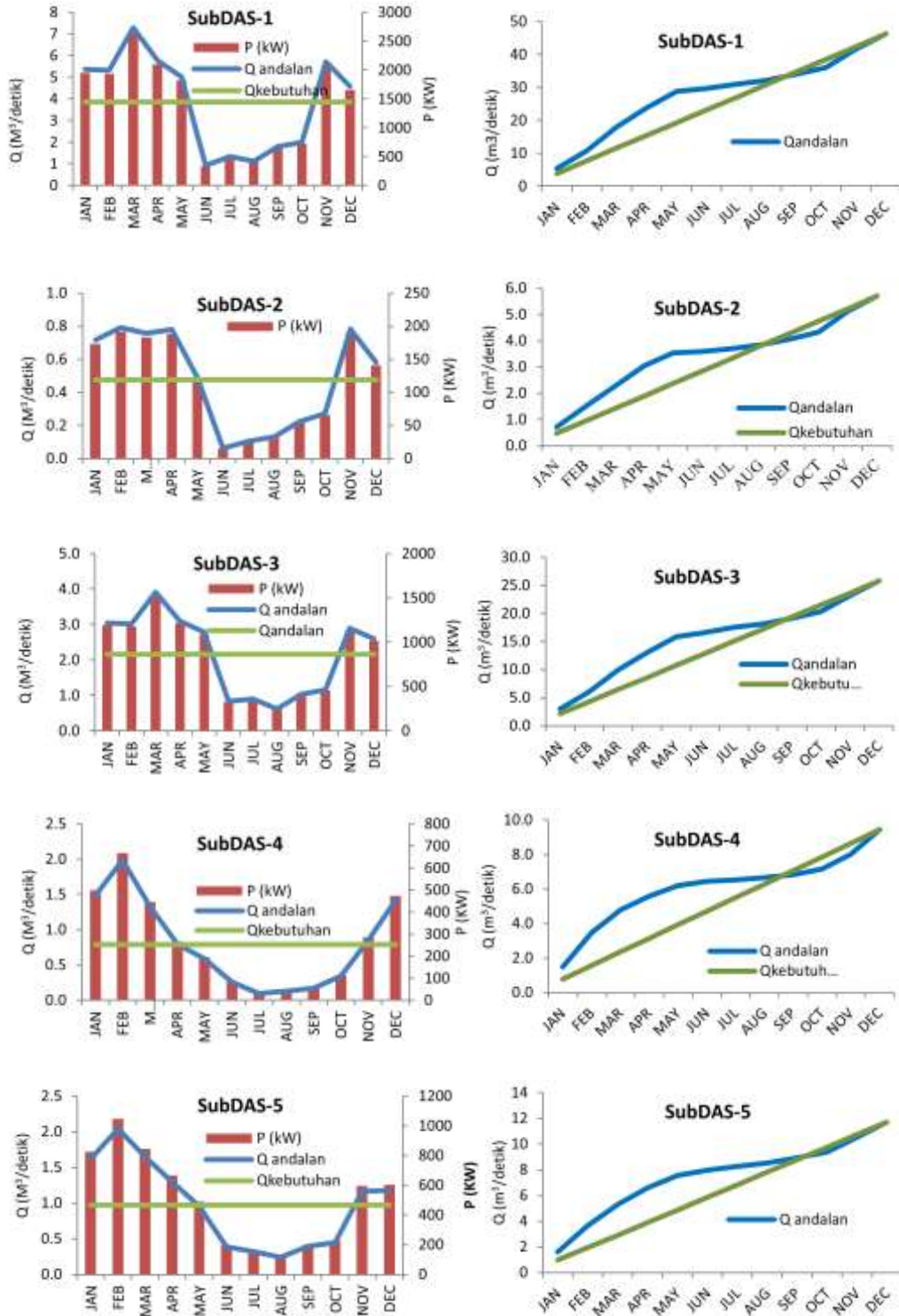
DAS Cisadane hulu terdapat dua taman nasional yang luasnya mencapai 24.424,8 Ha. Karena fungsi dan status kawasan merupakan kawasan lindung, diharapkan tidak terjadi perubahan atau alih fungsi lahan di kawasan DAS ini demi terjaganya pasokan air untuk PLTHM. Pada Das yang kecil luasan hutan sangat berpengaruh dalam menjaga keberlangsungan debit air dan mengurangi debit puncak (Junaedi, 2009). Bagian luar dari kedua TN ini ditutupi oleh perkebunan

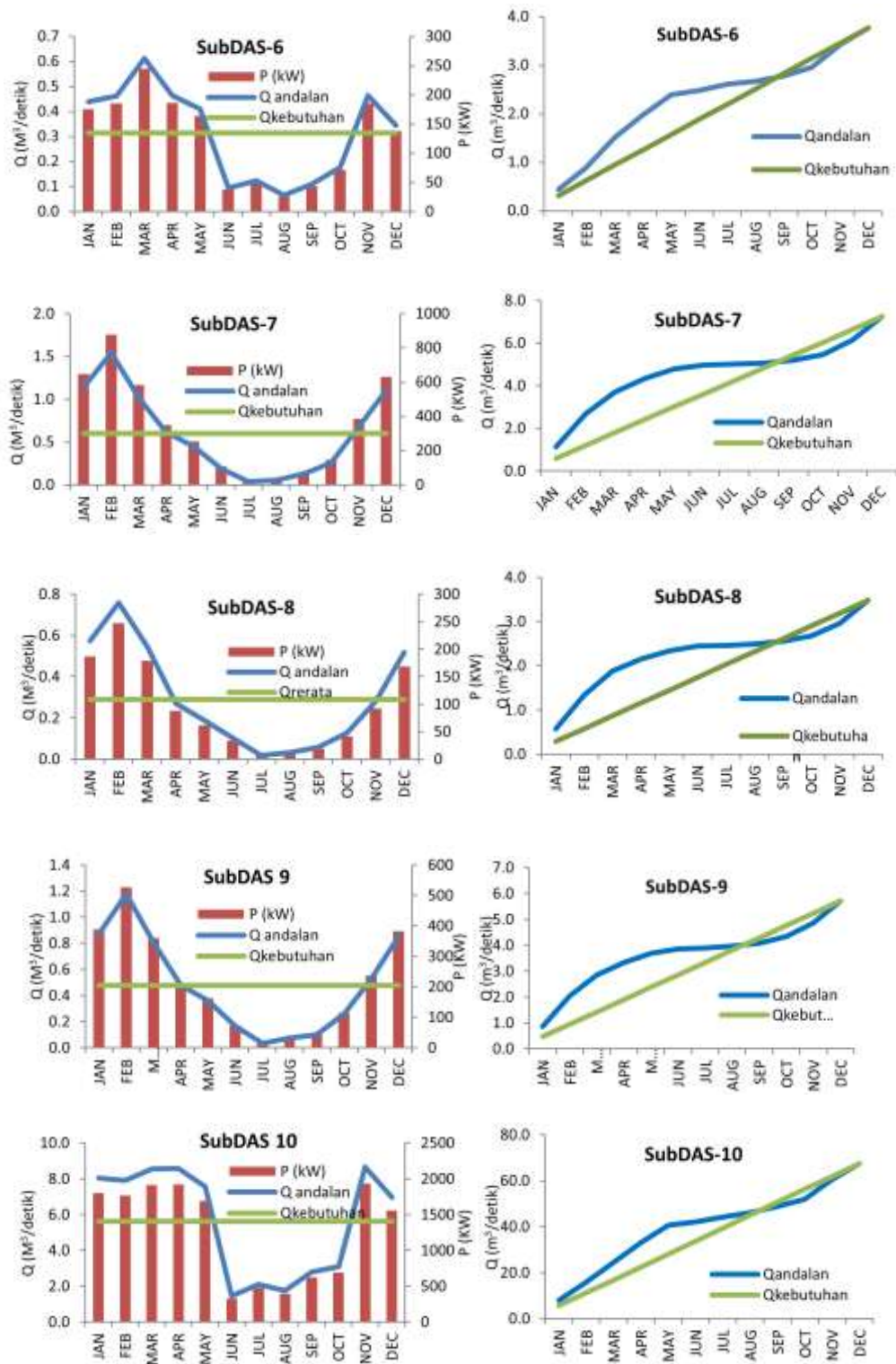
dan pertanian sehingga banyak penduduk yang masih tinggal di daerah-daerah penyangga, sebagian dari penduduk belum menikmati energi listrik karena jaringan listrik dari PLN sulit untuk menjangkau daerah-daerah terpencil.

Hasil pemodelan hidrologi SWAT tidak hanya digunakan dalam perencanaan untuk mendapatkan potensi pengembangan PLTMH tetapi juga bisa digunakan dalam pengelolaan PLTMH bila sudah beroperasi seperti yang dilakukan oleh Piman *et al.*

(2013) yang mengkaji rezim aliran di Sungai Sekong, Sesan dan Srapok yang merupakan anak S. Mekong akibat pembangunan dam pembangkit listrik. Pembangunan dam di

tiga sungai tersebut menghasilkan turunya debit puncak dan aliran dasar di musim kering.





Gambar 5. Debit andalan dan kurva massa debit pada setiap SubDAS terpilih di DAS Cisdane Hulu

Tabel 3. Klasifikasi pembangkit berdasarkan daya yang dibangkitkan

No PLTMH	Luas (km ²)	Beda tinggi (m)	Debit andalan 80% (m ³ /detik)	Potensi Energi Listrik (kW)	Kebutuhan volume Reservoir (m ³ x 10 ⁶)	Lokasi (desa)	Klasifikasi Pembangkit Listrik
1	68,0	39	3,85	1.398,6	9,3	Bantarkaret	PLTA skala kecil
2	6,1	26	0,48	115,1	0,3	Bantarkaret	Minihidro
3	36,6	42	2,15	842,6	2,1	Cibunian	Minihidro
4	17,1	36	0,79	263,8	4,4	Pasirbuncir	Minihidro
5	17,6	55	0,98	500,2	4,5	Ciasmara	minihidro
6	5,5	43	0,31	124,1	1,8	Gunungmalang	Minihidro
7	13,0	61	0,6	340,7	4,8	Cinagara	Minihidro
8	6,7	35	0,29	121,5	3,1	Citapen	Minihidro
9	9,9	48	0,48	214,5	4,1	Lemahduhur	Minihidro
10	101,3	67	5,63	3.511,8	22,8	Cisarua	PLTA skala kecil

KESIMPULAN

Perhitungan potensi pengembangan PLTHM di DAS Cisadane Hulu secara spasial dapat dilakukan dengan menggunakan pemodelan hidrologi model SWAT dengan input data DEM, iklim, penggunaan lahan dan jenis tanah. Hasil simulasi model dan dianalisis dengan debit andalan menunjukkan DAS Cisadane Hulu mempunyai banyak potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan PLTMH. Ada dua SubDAS yang potensinya masuk dalam klasifikasi PLTA skala kecil, yaitu; SubDAS (Desa Cisarua) yang berpotensi menghasilkan 3.511 kW, dan SubDAS-1 (Desa Bantarkaret) yang berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 1.398,6 kW m³. Sedangkan SubDAS lainnya masuk dalam klasifikasi minihidro (100 kW – 1000 kW).

Tidak tertutup kemungkinan menerapkan pembangkit secara bertingkat pada subDAS-SubDAS yang berpotensi tinggi membangkitkan energi listrik untuk itu diperlukan kajian lebih lanjut pada masing-masing subDAS tersebut, baik dari desain teknis bendungan, maupun pemakaian turbin atau generator yang digunakan. Model hidrologi SWAT juga mempunyai kemampuan untuk mengkaji pengelolaan yang akan dilakukan setelah PLTMH beroperasi baik dari regim aliran ataupun dari loading sedimen. Selain itu perlu juga dilakukan kajian sosial

ekonomi pada masyarakat disekitar daerah yang berpotensi tinggi tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pimpinan dan staf peneliti di Puslit Limnologi-LIPI yang sudah memberikan dukungan dana dan data untuk kelengkapan tulisan ini. Ucapan terimakasih juga untuk pada peneliti dan teknisi di Lab Hidroinformatik P₂L-LIPI.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2011, Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mikrohidro Berbasis Masyarakat, Executive Summary, Kementerian Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan Puslitbang Sosial Ekonomi dan Lingkungan.
- Chow Ven te, 1988, , Applied hydrology, McGraw Hill, New York
- I Wayan Ratnata, W. Surya dan M. Somantri, 2013, Analisis Potensi Pembangkit Energi Listrik Tenaga Ir di Saluran Sekitar Kampus Universitas Pendidikan Indonesia, FPTK Expo 2013, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Junaedi E. (2009). Kajian Berbagai Alternatif Perencanaan Pengelolaan DAS Cisadane Menggunakan Model SWAT [tesis]. Bogor: Program

- Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Khan A.D., Shima G., Jeff G. A, and Mauro DL., 2014, Hydrological Modeling of Upper Indus Basin and Assessment of Deltaic Ecology, *International Journal of Modern Engineering Research*, Vol 4, Iss 1. 73-85 p. http://www.ijmer.com/papers/Vol4_Issue1/AJ417385.pdf download 15 Feb 2014.
- Neitsch, S. L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams. (2009). Soil And Water Assessment Tool. Theoretical Documentation. Grassland Soil and Water Laboratory. Agricultural Research Service. Backland Research Center – Texas Agricultural Experiment Station. USA. 476 pages.
- Patil N.S., I. T. Shirkol, S. G. Joshi, 2013, Geospatial Technology for Mapping Suitable Sites for Hydro Power Plant, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, Vol. 3, page 156 – 160.
- Piman T., T. A. Cochrane, M. E. Arias, A. Green, and N. D. Dat, 2013, Assessment of Flow Changes from Hydropower Development and Operations in Sekong, Sesan, and Srepok Rivers of the Mekong Basin, *Journal of Water Resources Planning and Management*. P. 723 – 732.
- PWCIndonesia, 2011, Electricity in Indonesia; Investment and Taxation Guide, PWC, 98 hal.
- Purwanto Y.A, Lilik B. P., Ellyn K. D, dan Rais S., 2009, Model Desa Mandiri Energi Berbasis Mikrohidro di Sekitar Taman Nasional, *Prosiding, Kongres Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia*, 8-9 Agustus 2009, Universitas Mataram, NTB
- Ridwansyah I., Hidayat P, Naik, S. dan Y. Hidayat, 2014, Watershed Modeling with ArcSWAT and SUFI2 In Cisadane Catchment Area: Calibration and Validation of River Flow Prediction, *International Journal of Science and Engineering*, Universitas Diponegoro.
- Sentahu H., 2013, PLTHM Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Asosiasi Hidro Bandung, 131 hal.
- Singh, V.P. 1992. Elementary Hydrology. Department of Civil Engineering Louisiana State University. Prentice Hall.
- Susatyo A. dan Ridwan A.S., 2009, Implementasi Teknologi Pembangkit Listrik Mikro Hidro Kapasitas 30 KW di Desa Cibunar Tasikmalaya Jawa Barat, *Prosiding Seminar Nasional Daur Bahan Bakar*. Hal C22-C26.
- Tengku Islah, 2012, Fenomena Industri Mineral dan Propek Pendirian Pengolahan dan Pemurnian Mineral. ESDM. http://psdg.bgl.esdm.go.id/buletin_pdf_file/Bul%20Vol%204%20No.%203%20thn%202009/7.%20Fenomena%20industri%20mineral,p.%20Islah.pdf
- The World Bank, 2009, Direction in Hydropower, The World Bank 1818 H Street, NW Washington, DC 20433, USA
- Triatmojo B., 2009, Hidrologi Terapan, Beta Offset, 360 hal.
- Widodo P.S., 2012, Pembangkit Listrik dengan Potensi Sumber Energi Setempat sebagai Wujud Pemerataan Energi Listrik di Desa Tertinggal dan Terpencil (Studi Kasus di Desa Munggu Kecamatan Ngabang, Kabupaten Landak), *Vokasi* Vol 8. No.3, hal 151-164.