

ANALISIS LIMPASAN LANGSUNG MENGUNAKAN METODE NAKAYASU, SCS, DAN ITB STUDI KASUS SUB DAS PROGO HULU

**Agreista Vidyna Qoriaulfa¹, Annisa Ratna Putri¹, Huriyah Fadhillah¹,
Puji Harsanto², Jazaul Ikhsan²**

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

*Email: jazaul.ikhsan@umy.ac.id

Abstrak

Keberadaan sungai Progo menjadi salah satu sumber kehidupan bagi masyarakat DIY yang berada di sekitar sungai progo diantaranya untuk irigasi, pertambangan pasir, dan keperluan rumah tangga. Mengingat pentingnya sungai Progo bagi kehidupan masyarakat DIY dan sekitarnya maka pengamatan debit menjadi lebih penting untuk menentukan agar fungsi dari aliran sungai dapat berjalan dengan baik dan nantinya bermanfaat untuk perancangan bangunan air serta dapat menguntungkan bagi manusia dan ekosistem. Permasalahan dilapangan yaitu ketersediaan data hidrologi yang kurang tersedia atau sulit untuk didapatkan dalam analisis hidrologi untuk mengatasi ketersediaan data debit aliran sungai tersebut perlu pendekatan model yang tepat dan sesuai dengan kondisi suatu DAS untuk memperkirakan debit aliran sungai yang tidak tersedia. Banyak metode yang bisa digunakan dalam pengalihragaman data curah hujan menjadi debit limpasan langsung melalui sistem DAS diantaranya metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu (1940) yang dikembangkan di Jepang, metode SCS (Soil Conservation Service), 1972, yang dikembangkan di Amerika dan metode ITB yang dikembangkan di Bendung Citepus dan Bendungan Sadawarna. Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis metode HSS Nakayasu, SCS, dan ITB jika digunakan di wilayah tropis seperti Indonesia yang mempunyai daerah aliran sungai yang mempunyai karakteristik DAS yang berbeda-beda, kemudian apakah ke tiga metode tersebut dapat menghasilkan hasil yang mendekati hidrograf limpasan langsung pengamatan AWLR. Penelitian ini dilakukan analisis limpasan langsung menggunakan metode tersebut dengan lokasi tinjauan di DAS Borobudur yang merupakan sub DAS Progo dengan lokasi stasiun AWLR Borobudur dan menggunakan data curah hujan pada tanggal 20 Januari 2012 s/d 24 Januari 2012. Hasil yang diperoleh dari ke 3(tiga) metode tersebut adalah belum menghasilkan keluaran yang mendekati limpasan langsung pengamatan maka diperlukan modifikasi parameter Nakayasu dan kalibrasi pada SCS dan ITB.

Kata kunci: limpasan langsung, Nakayasu, SCS, ITB

1. PENDAHULUAN

Sungai Progo adalah sungai terpanjang di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), di mana keberadaan sungai Progo menjadi salah satu sumber kehidupan bagi masyarakat DIY, seperti untuk irigasi, penambangan pasir, dan keperluan rumah tangga. Mengingat pentingnya sungai Progo bagi kehidupan masyarakat DIY dan sekitarnya, maka pengamatan debit menjadi lebih penting untuk menentukan agar fungsi dari aliran sungai dapat berjalan dengan baik dan nantinya bermanfaat untuk perancangan bangunan air serta dapat menguntungkan bagi manusia dan ekosistem.

Data curah hujan pada stasiun pengukuran hujan di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) biasanya tersedia dalam rentang waktu yang cukup panjang dibandingkan pengukuran debit aliran sungai pada stasiun *Automatic Water Level Recorder* (AWLR). Permasalahan di lapangan yaitu ketersediaan data hidrologi yang kurang tersedia atau sulit untuk didapatkan dalam analisis hidrologi. Pengumpulan data diperoleh dari instansi terkait yaitu BBWS (Balai Besar Wilayah Sungai) Serayu-Opak, untuk mengatasi ketersediaan data debit aliran sungai tersebut perlu pendekatan model yang tepat dan sesuai dengan kondisi suatu DAS untuk memperkirakan debit aliran sungai yang tidak tersedia. Banyak metode yang bisa digunakan dalam pengalihragaman data curah hujan menjadi debit limpasan langsung melalui sistem DAS diantaranya metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu (1940) yang dikembangkan di Jepang, metode SCS (*Soil*

Conservation Service), 1972, yang dikembangkan di Amerika dan metode ITB yang dikembangkan di Bendung Citepus dan Bendungan Sadawarna. Berbagai HSS tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing berdasarkan karakteristik fisik DAS. Pada penelitian ini mencoba menerapkan metode Nakayasu, SCS dan ITB pada Sub DAS Progo hulu pada stasiun AWLR Borobudur.

2. DASAR TEORI

Model hidrologi mempunyai pengertian yaitu suatu set pernyataan-pernyataan matematik yang menyatakan hubungan antara fase-fase dari siklus hidrologi dengan tujuan mensimulasikan transformasi hujan menjadi limpasan (Ponce, 1989). Limpasan terjadi karena adanya hujan yang tidak dapat tertampung oleh kapasitas infiltrasi. Pembentukan limpasan diawali dengan jatuhnya hujan ke bumi kemudian sebagian akan tertampung pada cekungan-cekungan yang ada di permukaan tanah serta meresap kedalam tanah, air hujan yang tidak tertampung akan mengalir atau melimpas di atas permukaan tanah. (Asdak, 2002) menyebutkan terdapat dua faktor yang mempengaruhi limpasan yakni iklim dan faktor DAS.

2.1 HSS Nakayasu

Metode Nakayasu berasal dari Jepang dengan meneliti sungai-sungai yang ada di Jepang. Bentuk HSS Nakayasu dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left[\frac{A \cdot Re}{0,3T_p + T_{0,3}} \right] \quad (1)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r \quad (2)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \quad (3)$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \quad (4)$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot t_g \quad (5)$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \quad (6)$$

dengan :

Q_p : Debit puncak banjir ($m^3/detik$)

A : Luas DAS (km^2)

Re : Curah hujan efektif (mm)

T_p : Waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)

$T_{0,3}$: Waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)

t_g : Waktu konsentrasi (jam)

T_r : Satuan waktu dari curah hujan (jam)

α : Koefisien karakteristik DAS

L : Panjang sungai utama

(Sumber : Triatmojo, 2013)

Koefisien karakteristik DAS (α) mempunyai kriteria sebagai berikut:

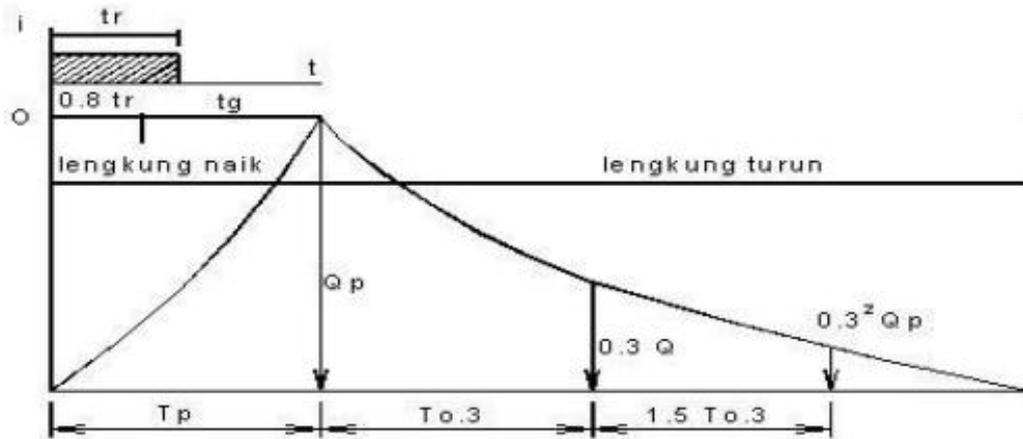
- Daerah pengaliran biasa $\alpha = 2$
- Bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat $\alpha = 1,5$
- Bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat $\alpha = 3$

Persamaan kurva hidrograf satuan sintetis Nakayasu adalah :

- Kurva bagian lengkung naik untuk

$$(0 < t < T_p)$$

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (7)$$



Gambar 1. Hidrograf satuan sintetik Nakayasu

b) Kurva bagian lengkung turun :

1) Untuk ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$Q_{d1} = Q_p \times 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \tag{8}$$

2) Untuk ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$)

$$Q_{d2} = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p)+(0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}} \tag{9}$$

3) Untuk ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}$)

$$Q_{d3} = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p)+(1,5T_{0,3})}{2T_{0,3}}} \tag{10}$$

2.2. SCS (Soil Conservation Service)

Sebelum terjadi limpasan permukaan, sebagian hujan menjadi abstraksi awal. Abstraksi awal (*Initial abstraction*, I_a) adalah fungsi penggunaan tanah, perlakuan dan kondisi, serta kandungan air tanah sebelumnya.

Parameter ini mewakili nilai intersepsi, evaporasi, dan penahan air yang akan memengaruhi kemungkinan terjadinya limpasan langsung (Arsyad, 2012). Abstraksi awal yang terjadi sebelum limpasan permukaan meliputi air yang tertahan di permukaan, air yang terintersepsi oleh vegetasi, evaporasi dan infiltrasi. *Initial abstraction*, I_a merupakan variabel yang kompleks tapi secara umum, yang dapat didekati dengan berhubungan dengan tanah dan penutupan lahan persamaan empiris sebagai berikut :

$$I_a = 0,2 \times S \tag{11}$$

Parameter 0,2 adalah rasio *initial abstraction* dan dinyatakan dengan simbol λ (lamda). Variabel λ selalu berubah-ubah dari hujan ke hujan lainnya. Dengan demikian variabel λ harus dikalibrasi untuk mendapatkan hasil yang optimal. Untuk menghitung limpasan permukaan harian, digunakan persamaan seperti berikut :

$$P_e = \frac{(P_d - I_a)^2}{(P_d - I_a) + S} \tag{12}$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa besar kecilnya limpasan dipengaruhi oleh retensi potensial maksimum air (S) oleh tanah, yang sebagian besar adalah karena infiltrasi. Retensi potensial maksimum memiliki bentuk yang disajikan pada persamaan berikut :

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (13)$$

Selain merupakan fungsi karakteristik DAS, nilai CN juga harus memperhatikan kondisi kelembaban tanah sebelumnya atau biasa disebut AMC (*antecedent moisture conditions*). Kondisi AMC dibagi menjadi tiga yaitu AMC I, AMC II, dan AMC III. AMC I mewakili kondisi tanah kering (terjadi saat musim kering/ kemarau) sehingga potensi limpasan kecil. AMC II adalah kondisi tanah normal. AMC III mewakili kondisi tanah basah (terjadi saat musim penghujan) dan kemungkinan potensi limpasan langsung besar. Tabel nilai CN yang diberikan oleh NRCS adalah nilai CN pada kondisi normal (AMC-II) (Triatmodjo, 2013). Untuk mencari nilai AMC-I dan AMC-III NRCS dapat menggunakan persamaan berikut :

$$CN-I = \frac{4,2 \times CN-II}{10 - 0,058 \times CN-II} \quad (14)$$

$$CN-III = \frac{23 \times CN-II}{10 - 0,13 \times CN-II} \quad (15)$$

dengan:

CN-I = Nilai CN untuk kondisi AMC-I

CN-II = Nilai CN untuk kondisi AMC-II

CN-III = Nilai CN untuk kondisi AMC-III

2.3. HSS ITB

Waktu puncak hidrograf satuan sintetis ditentukan oleh harga *time lag*. *Time Lag* adalah waktu tercapainya debit puncak dihitung dari pusat hujan satuan dengan rumus sebagai berikut (Natakusumah dkk, 2011):

$$T_L = Ct \times 0,21 L^{0,7} \quad (L < 15 \text{ km}) \quad (16)$$

$$T_L = Ct \times 0,527 + 0,058 L \quad (L \geq 15 \text{ km}) \quad (17)$$

dengan :

T_L = *Time Lag* (jam)

Ct = Koefisien untuk proses kalibrasi

L = Panjang sungai terpanjang (km)

Bentuk hidrograf satuan sintetis dapat dinyatakan dengan berbagai persamaan-persamaan bentuk dasar HSS. Pada HSS ITB memiliki persamaan lengkung naik dan lengkung turun yang dinyatakan dalam dua persamaan yaitu :

1. Lengkung Naik

$$q(t) = t^\alpha \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (18)$$

2. Lengkung Turun

$$q(t) = \exp(1 - t^{\beta \times Cp}) \quad (t > 1 \text{ s/d}\infty) \quad (19)$$

dengan :

$t = (T/Tp)$ adalah waktu yang telah dinormalkan (detik)

$q = (Q/Qp)$ adalah debit yang telah dinormalkan (m^3)

Dari definisi hidrograf satuan sintetis dapat disimpulkan bahwa volume hujan efektif satu satuan yang jatuh merata seluruh DAS (V_{DAS}) harus sama volume hidrograf satuan sintetis (V_{HSS}) dengan waktu puncak T_p . Jika bentuk dasar hidrograf satuan diketahui, dan harga waktu puncak dan waktu dasar diketahui, maka debit puncak hidrograf satuan sintetis akibat tinggi hujan satu satuan $R = 1\text{ mm}$ yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $T_r = 1\text{ jam}$, adalah sebagai berikut

$$Q_p = \frac{R \times A_{DAS}}{3,6 T_p \times A_{HSS}} \quad (20)$$

dengan :

Q_p	= Debit puncak hidrograf satuan (m^3/s)
R	= Curah hujan satuan (mm)
T_p	= Waktu mencapai puncak (jam)
A_{DAS}	= Luas DAS (km^2)
A_{HSS}	= Luas kurva satuan hidrograf tak berdimensi

3. METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini meninjau lokasi DAS Borobudur yang merupakan Sub DAS Progo bagian hulu dengan lokasi AWLR di stasiun Borobudur. Ruas sungai Progo yang dijadikan sebagai objek penelitian sepanjang $\pm 68\text{ km}$ dari hulu dengan hilir sungai berada di daerah stasiun AWLR Borobudur.

3.2. Metode Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu data sekunder dari beberapa instansi terkait antara lain :

1. Data curah hujan harian, sumber data dari *ARR (Automatic Rainfall Recorder)* yang dikelola oleh (KPU-BBWS) Serayu-Opak.
2. Data muka air harian dan debit aliran sungai harian, sumber data *Automatic Water Level Recorder (AWLR)* stasiun Borobudur yang dikelola oleh (KPU-BBWS) Serayu-Opak.
3. Data tataguna lahan dan peta topografi diperoleh dari kontur Pusat Pelayanan Informasi Kebumihan (PPIK) Universitas Gajah Mada Yogyakarta

3.3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data (data yang diperoleh merupakan data sekunder dari penelitian sebelumnya)
2. Menganalisis data
 - a. Analisis curah hujan rata-rata kawasan dengan menggunakan metode *Theissen Method*. Dari ke tiga metode yang dianalisis model hidrologi menggunakan model komposit dimana hujan yang jatuh untuk semua wilayah DAS dianggap sama rata.
 - b. Analisis hujan efektif dengan menggunakan metode ABM
 - c. Analisis limpasan langsung dengan menggunakan metode HSS Nakayasu, *NRCS-CN* dan ITB
3. Modifikasi dan Kalibrasi model

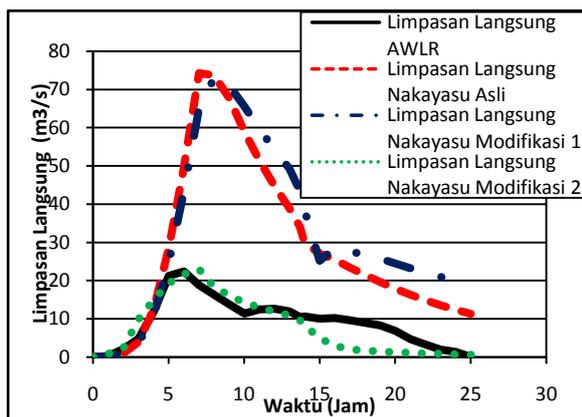
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. HSS NAKAYASU

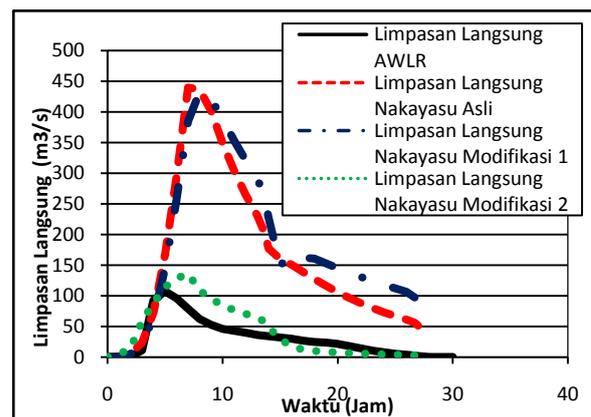
Penelitian pada model HSS Nakayasu dilakukan dengan tiga kali percobaan, yang pertama menggunakan metode Nakayasu asli, metode Nakayasu modifikasi 1 (Agus, 2007) dan metode Nakayasu modifikasi 2.

Tabel 1. Parameter Nakayasu asli, modifikasi 1 dan modifikasi 2

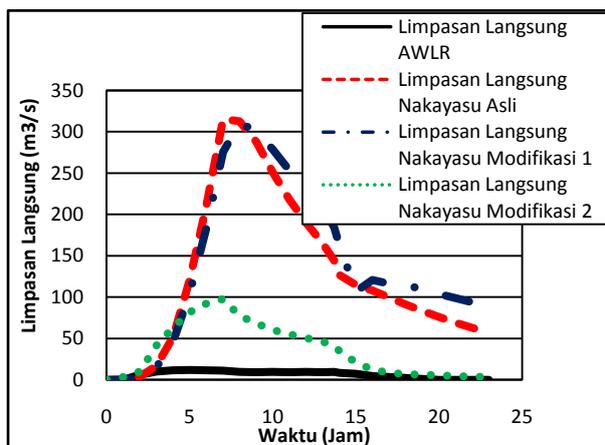
No.	Persamaan Metode Nakayasu Asli	Persamaan Metode Nakayasu Modifikasi 1	Persamaan Metode Nakayasu Modifikasi 2
1.	$t_g = 0,4 + 0.058 L$	$t_g = 0,4 + 0.119 L$	$t_g = 0,4 + 0.119 L$
2.	$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4}$	$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2.311}$	$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{0,5}$
3.	$Q_{d1} = Q_p \times 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}}$	$Q_{d1} = Q_p \times 0,3^{\frac{t-1.341T_p}{0.746T_{0,3}}}$	$Q_{d1} = Q_p \times 0,3^{\frac{t-0.5T_p}{0.8T_{0,3}}}$
4.	$Q_{d2} = Q_p \times \frac{(t-T_p)+(0,5T_{0,3})}{0,3^{\frac{1,5T_{0,3}}{t-T_p}}}$	$Q_{d2} = Q_p \times \frac{(t-T_p)+(0,5T_{0,3})}{0,3^{\frac{1,381T_{0,3}}{t-T_p}}}$	$Q_{d2} = Q_p \times \frac{(t-T_p)+(0,5T_{0,3})}{0,3^{\frac{0,5T_{0,3}}{t-T_p}}}$
5.	$Q_{d3} = Q_p \times \frac{(t-T_p)+(1,5T_{0,3})}{0,3^{\frac{2T_{0,3}}{t-T_p}}}$	$Q_{d3} = Q_p \times \frac{(t-T_p)+(1,5T_{0,3})}{0,3^{\frac{0,417T_{0,3}}{t-T_p}}}$	$Q_{d3} = Q_p \times \frac{(t-T_p)+(1,5T_{0,3})}{0,3^{\frac{6T_{0,3}}{t-T_p}}}$



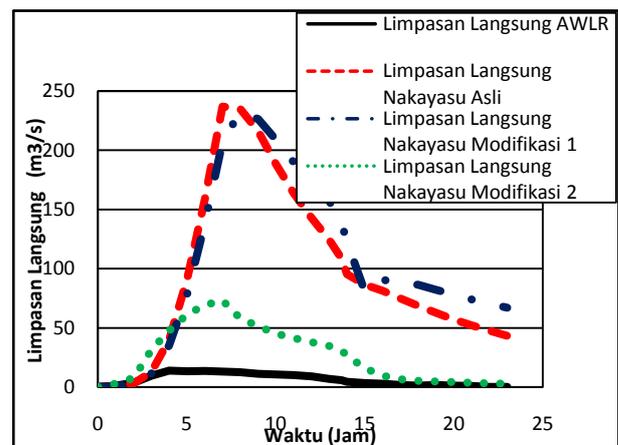
(a)



(b)



(c)



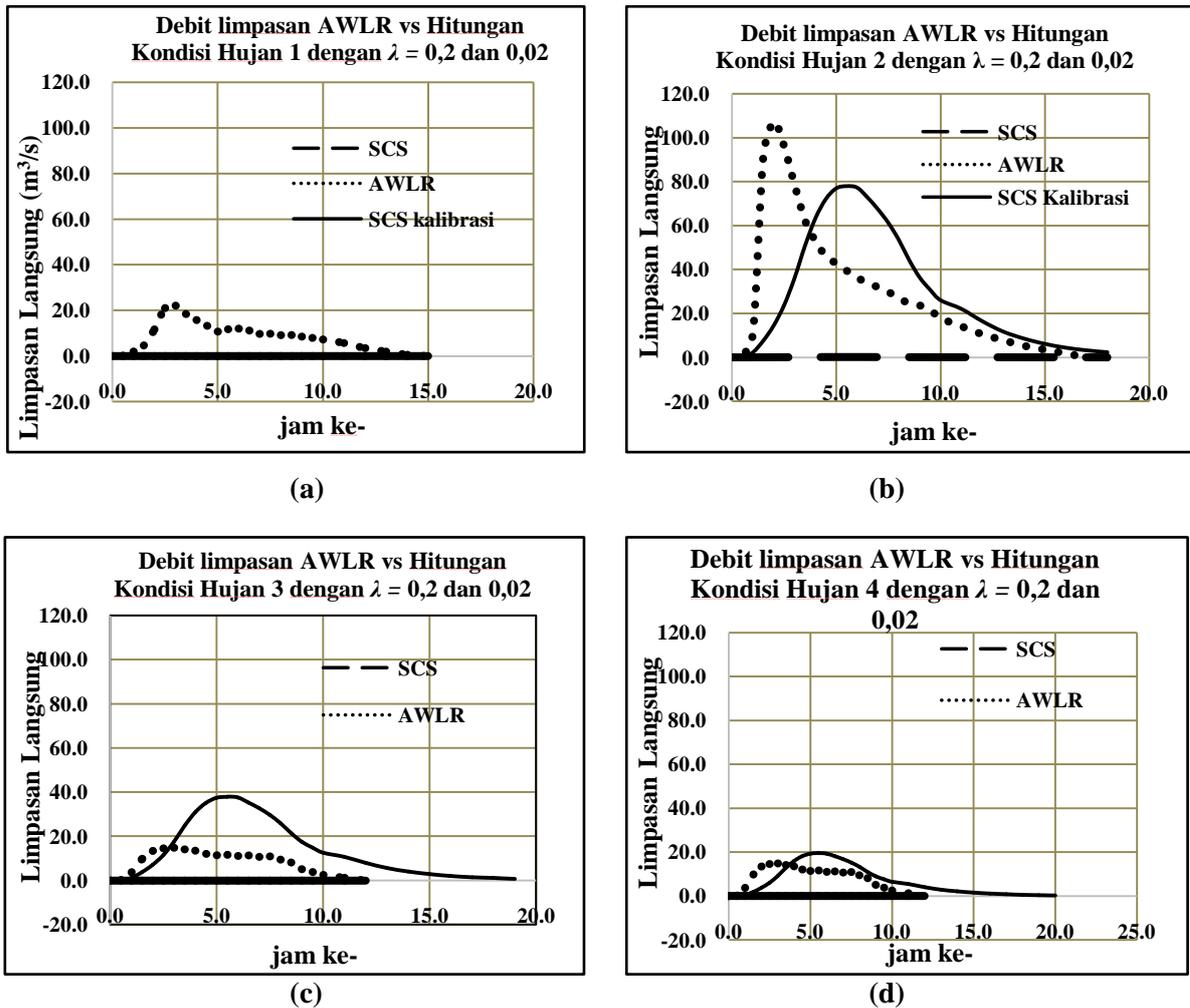
(d)

Gambar 2. Hasil hidrograf limpasan langsung Nakayasu (a) Kondisi hujan 1, (b) Kondisi hujan 2, (c) Kondisi hujan 3, dan (d) Kondisi hujan 4.

Dari bentuk persamaan ke tiga pengujian tersebut, hasil dari modifikasi 2 menghasilkan nilai yang mendekati dari hidrograf limpasan langsung pengamatan. Dengan catatan kondisi 3 dan kondisi 4 yang masih belum mendekati hidrograf pengamatan AWLR, hal ini disebabkan karena pada kondisi 3 dan kondisi 4 tidak mempunyai debit banjir dengan nilai rerata kawasan pada tanggal 23 Januari 7.06 mm dan pada tanggal 24 Januari hamper tidak terjadi hujan 0.59 mm. parameter yang berperan penting dalam menghasilkan debit limpasan langsung mendekati pengamatan AWLR adalah persamaan t_g pada koefisien pengali L (luasan) sebesar 0.119 sangat berpengaruh dalam menaikkan nilai debit puncak pada model Nakayasu dan pada persamaan Q_{d3} yaitu pada persamaan pangkat $6T_{0,3}$.

4.2. SCS (Soil Conservation Service)

Dengan menggunakan parameter λ asli yang disarankan USCS dan parameter λ kalibrasi didapat hasil seperti berikut :



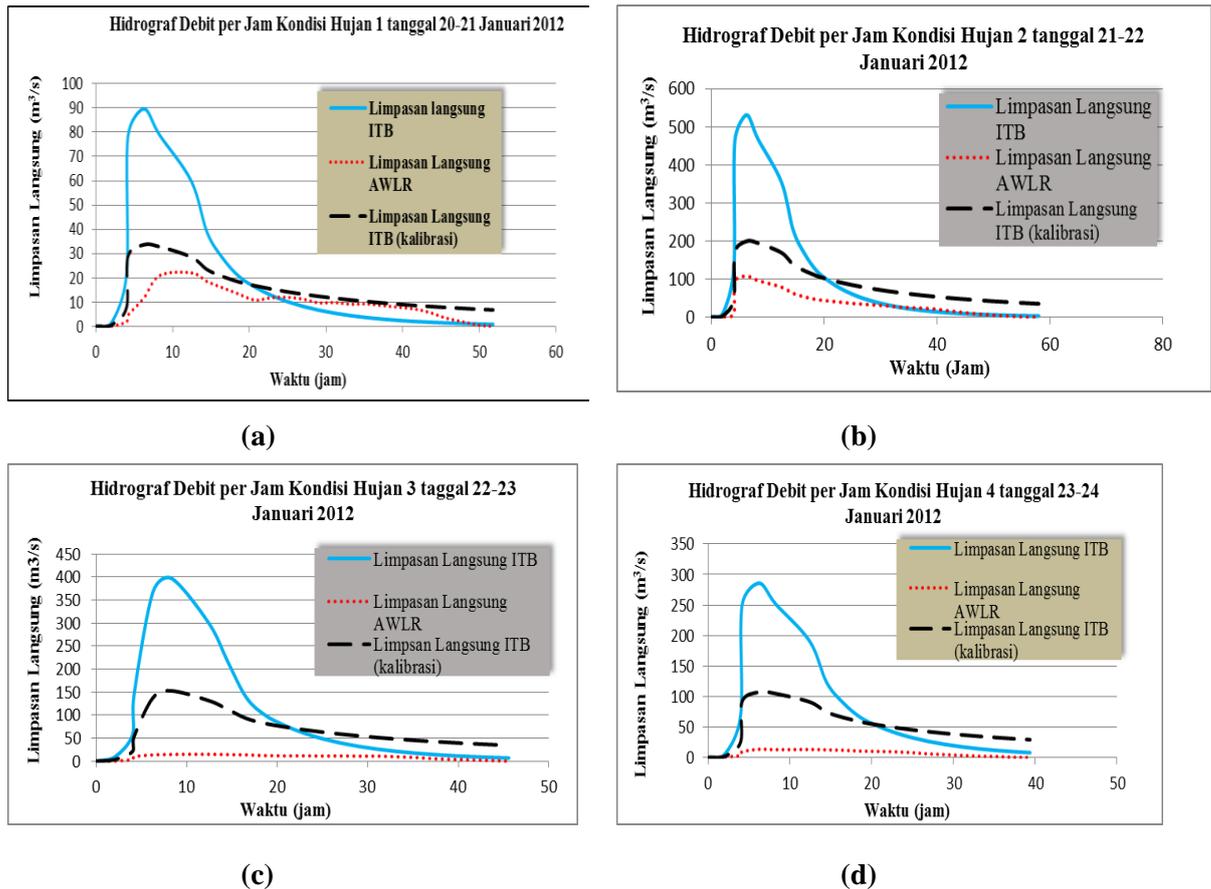
Gambar 3. Hasil hidrograf limpasan langsung SCS (a) Kondisi hujan 1, (b) Kondisi hujan 2, (c). Kondisi hujan 3 dan (d) Kondisi hujan 4.

Hasil analisis debit menggunakan $\lambda = 0,2$ menunjukkan tidak ada limpasan langsung karena nilai abstraksi awal (I_a) lebih besar dari pada curah hujan awal, sehingga nilai korelasi yang dihasilkan juga tidak ada. Sedangkan setelah dilakukan beberapa percobaan kalibrasi, ternyata debit simulasi metode NRCS-CN tetap memberikan hasil yang belum mendekat debit AWLR

dilihat dari nilai korelasi antara 0,04-0,37 dimana nilai korelasi ini jauh dari mendekati angka 1. Penyimpangan yang terjadi pada penelitian ini dapat dipahami oleh karena beberapa sebab, yaitu

1. klasifikasi tanah di DAS progo diklompokkan dalam satu jenis tanah, yaitu kelompok B.
2. Nilai CN menggunakan nilai CN komposit,
3. Nilai parameter λ diasumsikan sama untuk data empat hari yang di analisis
4. Data grafik muka air yg diperoleh dr BBWS tidak begitu akurat karena mesin jam pengukur tidak teratur.

4.3. HSS ITB



Gambar 4. Perbandingan antara HSS ITB, AWLR dan HSS ITB Kalibrasi (a) Kondisi hujan 1, (b) Kondisi hujan 2, (c) Kondisi hujan 3 dan (d) Kondisi hujan 4.

Dari ketiga metode yang dianalisis, debit limpasan langsung simulasi menggunakan parameter awal yang disarankan masing-masing metode, belum ada yang mendekati debit pengamatan AWLR.

5. KESIMPULAN

1. Hasil keluaran dari metode Nakayasu, SCS dan ITB masih jauh dari hasil limpasan langsung observasi.
2. Metode Nakayasu, SCS dan ITB kurang sesuai jika diterapkan di Sub DAS Progo hulu. Perlu memodifikasi parameter dari ke tiga model tersebut

6. DAFTAR PUSTAKA

- Agus, I. (2007). Modifikasi Persamaan Hidrograf Satuan Sintetis Metoda Nakayasu Terhadap Hidrograf Satuan Observasi DAS Ciliwung Hulu. Rekayasa Sipil.
- Arsyad, S. (2012). Konservasi Tanah dan Air. Bogor : IPB Press

- Asdak, C. (2002). Hidrologi dan Pengolahan Aliran Sungai. Jakarta: Gajah Mada University Press.
- Natakusumah, D. K. (2011). Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya. Jurnal Teknik Sipil.
- Ponce, V. M. (1989). Engineering Hydrology: Principles And Practices. Englawoods Cliffs New Jersey: Practice Hall.
- Triatmodjo, B. (2013). Hidrologi Terapan. Yogyakarta: Beta Offset.