

**ANALISIS *PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION (PMP)*
DAERAH ALIRAN SUNGAI OPAK MENGGUNAKAN *GENERALISED
SHORT-DURATION METHOD (GSDM)***

Sri Lestariningsih dan Emilya Nurjani

n_emilya@geo.ugm.ac.id

Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di DAS Opak di Daerah Istimewa Yogyakarta. Kemungkinan Maksimum Pengendapan (PMP) nilai dapat digunakan sebagai masukan pada menentukan nilai Kemungkinan Maksimum Banjir (PMF) di DAS. Bahwa nilai PMF digunakan untuk pencegahan banjir dan perencanaan struktur hidrologi. Penelitian ini dibuat untuk tahu nilai PMP di DAS Opak. Lain untuk mengetahui distribusi spasial dan temporal dari PMP value. Estimation nilai PMP di DAS Opak dibuat menggunakan Generalized Metode Short-Durasi (GSDM) untuk wilayah DAS hingga 1000 km² dan durasi pendek. GSDM dianggap faktor medan, penyesuaian untuk kelembaban, dan Penyesuaian untuk elevasi DAS estimasi dari PMP. Dari GSDM bisa tahu spasial distribusi dan temporal PMP value. This nilai hasil studi PMP di DAS Opak adalah 121 mm untuk durasi 3 jam, 68 mm untuk durasi 2 jam, 36 mm untuk durasi 1 jam. Spasial distribusi nilai PMP di DAS Opak sebagai aturan umum memiliki pola yang sama untuk setiap durasi adalah PMP terbesar di pusat elips. Hasil yang didapat, harapan dapat digunakan untuk pertimbangan dalam perencanaan untuk berbagai tujuan.

Kata kunci: Curah hujan maksimum Kemungkinan (PMP), DAS Opak, Generalized Metode Short-Durasi (GSDM)

ABSTRACT

This study made at the watershed Opak at Daerah Istimewa Yogyakarta. Probable Maximum Precipitation (PMP) value can use as input at determine value of Probable Maximum Flood (PMF) in watershed. That PMF value used for flood prevention and hydrology structure planning. This study made for know PMP value at the watershed Opak. Else for know spatial and temporal distribution of PMP value. Estimation PMP value at the watershed Opak made using Generalized Short-Duration Method (GSDM) for watershed area up to 1000 km² and short duration. GSDM considered factor of terrain, adjustment for moisture, and Adjustment for watershed elevation on estimation of PMP. From GSDM can know distribution spatial and temporal of PMP value. This study results PMP value at watershed Opak is 121 mm for duration 3 hour, 68 mm for duration 2 hour, 36 mm for duration 1 hour. Distribution spatial of PMP value at watershed Opak as a

general rule have same pattern for each duration is PMP greatest at center ellipse. Result gotten, hope can used for consideration in planning for variety of purpose.

Key words: *Probable Maximum Precipitation (PMP), DAS Opak, Generalized Short-Duration Method (GSDM)*

PENDAHULUAN

Siklus hidrologi dipengaruhi oleh kondisi meteorologi dan topografi. Banyaknya hujan yang jatuh di muka bumi berbeda-beda atau bervariasi menurut ruang dan waktunya sehingga keberadaan air di muka bumi tidak merata antara suatu tempat dengan tempat lainnya.

Sebagai sumberdaya alam yang keberadaannya tidak merata, sumberdaya air mempunyai peranan yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup. Air sangat berguna bagi kehidupan jika dimanfaatkan dengan baik. Demikian pula sebaliknya, air akan menjadi masalah jika melebihi kapasitas penampungannya, misalnya banjir. Estimasi banjir melalui perhitungan nilai *Probable Maximum Flood (PMF)* dapat menggunakan data masukan berupa nilai *Probable Maximum Precipitation (PMP) Bureau of Meteorology*, (2003). Kemungkinan ketebalan hujan terbesar untuk durasi, lokasi, dan pada waktu tertentu dikenal dengan *Probable Maximum Precipitation (PMP)* atau kemungkinan hujan maksimum.

Penentuan PMF memerlukan data masukan berupa debit aliran, masalahnya ketersediaan data debit aliran sangat terbatas jika dibandingkan dengan data hujan. Sehingga menimbulkan kesulitan untuk memperkirakan PMF jika hanya tergantung pada data debit aliran saja. Oleh karena itu, penentuan PMF dapat ditentukan dengan data masukan berupa nilai PMP dan mengaitkan dengan kondisi daerah penelitian. PMF sangat diperlukan untuk bangunan-bangunan air yang besar misalnya bangunan pelimpah (*spillway*), waduk, maupun bendungan *Saragih*, (2005).

Penentuan sebaran PMP pada suatu daerah sangat penting, karena PMP dapat digunakan sebagai data masukan untuk merancang bangunan-bangunan air maupun untuk memprediksi faktor-faktor bahaya akibat hujan, seperti hujan angin atau banjir bandang. Analisis PMP yang penting bagi perencanaan bangunan-bangunan air, maupun untuk prediksi faktor-faktor bahaya adalah analisis terhadap hujan harian maksimumnya. Daerah Aliran Sungai (DAS) Opak sebagai daerah penelitian merupakan daerah dengan konsentrasi penduduk yang relatif tinggi di wilayah Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Analisis PMP dilakukan juga untukantisipasi agar tidak jatuh banyak korban akibat bahaya yang terjadi karena hujan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah menghitung besarnya nilai *Probable Maximum Precipitation* (PMP) dan mengetahui persebaran nilai *Probable Maximum Precipitation* (PMP) secara spasial serta per periode kejadian hujan di Daerah Aliran Sungai Opak.

Kemungkinan hujan maksimum (PMP) secara teoritis dapat didefinisikan sebagai ketebalan hujan maksimum untuk lama waktu tertentu yang secara fisik mungkin terjadi dalam suatu wilayah aliran dalam kurun waktu tertentu. Kata “kemungkinan” dimaksudkan untuk menekankan bahwa karena proses fisik yang berlangsung di atmosfer kurang begitu dimengerti dan adanya keterbatasan data iklim maka menjadi tidak mungkin untuk menentukan besarnya hujan maksimum dengan ketelitian tinggi *Asdak*, (2002).

Curah hujan yang diperlukan untuk pembuatan rancangan bangunan-bangunan air yang berdasarkan debit yang disebabkan oleh curah hujan dari daerah pengaliran yang kecil seperti perhitungan debit banjir, rencana peluap suatu bendungan, selokan-selokan adalah curah hujan jangka waktu yang pendek dan bukan curah hujan jangka waktu yang panjang seperti curah hujan tahunan ataupun bulanan. Jangka waktu hujan yang digunakan biasanya dalam 2 jam *Sosrodarsono dan Takeda*,(1977).

Untuk memperoleh nilai intensitas hujan dari tebal hujan, maka diperlukan agihan tebal hujan menurut fungsi waktu. Tebal hujan menurut fungsi waktu dapat diperoleh dari stasiun hujan otomatis. Stasiun hujan otomatis umumnya memiliki alat pengukur hujan berupa *fluviograph* yang mampu memberikan data ketebalan hujan beserta durasi waktu terjadinya hujan tersebut *Asdak*, (2002). Untuk daerah yang tidak memiliki stasiun hujan otomatis, pola agihan tebal hujan menurut waktu diasumsikan menyerupai pola agihan tebal hujan menurut waktu dari stasiun hujan otomatis terdekat *Krisanto*, (1994).

Koesnomihardjo, (1976) melakukan penelitian mengenai persebaran PMP di Daerah Aliran Sungai (DAS) Serayu. Penentuan nilai PMP menggunakan rumus yang diperoleh *Hershfield* dalam penelitiannya dari ribuan stasiun hujan di Amerika Serikat. Hasil penelitian di DAS Serayu menunjukkan bahwa standar variasi (K) yang digunakan di Amerika Serikat tidak cocok untuk DAS Serayu.

Kristanto,(1994) dan *Saragih*, (2005) melakukan penelitian tentang distribusi tebal dan intensitas hujan harian maksimum rancangan dengan menggunakan metode yang sama yaitu menggunakan analisis frekuensi distribusi Gumbel tipe I dan Log-pearson tipe III. Pada penelitian *Saragih*, (2005) ditambah dengan distribusi log-normal dan Frechet.

METODE PENELITIAN

Bureau of Meteorology mengembangkan metode yaitu *Generalised Short-Duration Method* (GSDM) yang digunakan untuk daerah yang kecil sampai dengan 1000 km² dan dengan durasi hujan yang pendek Bureau of *Meteorology*,(2003). Dalam perhitungan nilai PMP, parameter-parameter yang digunakan adalah kelas medan, *Elevation Adjusment Factor* (EAF), dan *Moisture Adjusment Factor* (MAF). Kelas medan dibagi ke dalam dua kelas yaitu kasar “*Rough*” (R) dan halus “*Smooth*” (S). Pengkelasan tersebut berdasarkan pada keadaan topografi DAS. EAF merupakan rata-rata elevasi DAS yang diperoleh dari peta topografi, sedangkan MAF diperoleh dari indeks kelembaban yang dihitung dengan perbandingan nilai *maximum precipitable water* dan *actual precipitable water*.

Kelas medan diklasifikasikan kasar apabila dalam grid berukuran 500 m x 500 m terdapat perubahan elevasi 50 m atau lebih. Sedangkan jika tidak terjadi perubahan elevasi sebesar 50 m atau lebih maka diklasifikasikan sebagai kelas medan halus. Nilai total R + S adalah 1.

Menentukan *Elevation Adjusment Factor* (EAF) yang diperoleh dari perhitungan rata-rata ketinggian DAS yang diperkirakan dari peta kontur. Apabila elevasi rata-rata antara garis kontur yang berdekatan (selang 100 m) adalah *h* dan luasnya *A*, maka elevasi rata-rata daerah itu adalah:

Jika nilai rata-rata *ketinggian* DAS kurang dari 1500 m, maka EAF adalah 1. Jika nilai rata-rata *ketinggian* DAS lebih dari 1500 m, maka EAF dihitung dengan rumus;

$$\begin{aligned} \text{Penyesuaian Ketinggian} &= - ((H \text{ rata-rata} - 1500)/300) \times (0,05) \\ \text{EAF} &= 1,0 - \text{Penyesuaian Ketinggian} \end{aligned}$$

$$\text{H rata-rata} = \frac{A_1h_1 + A_2h_2 + A_3h_3 + \dots + A_nh_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

Moisture Adjusment Factor (MAF) dihitung dari perbandingan antara nilai *maximum precipitable water* dan *actual precipitable water* pada saat terjadi tebal hujan terbesar. Kedua nilai tersebut diperkirakan dari titik embun, dengan pengertian makin tinggi nilai kelembaban secara proposional akan meningkatkan besaran hujan. Nilai PMP dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{PMP} = (\text{S} \times \text{D}_s + \text{R} \times \text{D}_R) \times \text{MAF} \times \text{EAF}$$

Dimana S adalah kelas medan yang halus, R adalah kelas medan yang kasar. MAF adalah faktor penyesuaian kelembaban. EAF adalah faktor penyesuaian ketinggian DAS. D_s dan D_R merupakan kedalaman hujan maksimum yang didapatkan dari kurva DDA dengan mempertimbangkan durasi hujan .

Lokasi

Lokasi penelitian di DAS Opak (tidak termasuk Sub DAS Oyo), yang secara administratif berada di Daerah Istimewa Yogyakarta khususnya meliputi Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul dan Kota Yogyakarta. Ditinjau secara geomorfologi, DAS Opak berada pada satuan Gunungapi Merapi dari puncak sampai dataran fluvial gunungapi. Bagian barat berbatasan dengan DAS Progo, di bagian timur laut berbatasan dengan DAS Bengawan Solo dan di bagian tenggara berbatasan dengan sistem sungai di daerah karst Gunung Kidul. DAS Opak sebagai daerah penelitian luasnya adalah 638,89 km².

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kelas Medan

Kelas medan di DAS Opak memiliki persentase medan yang kasar sebesar 19% dan medan yang halus sebesar 81%. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa medan di DAS Opak sebagian besar adalah medan yang halus. Hal tersebut dapat terjadi karena DAS Opak berbatasan dengan laut sehingga topografinya relatif landai. Selain itu, posisi DAS Opak yang berada di bagian Graben Bantul, dimana sebelah timurnya adalah Perbukitan Baturagung dan sebelah baratnya adalah Perbukitan Kulon Progo. Medan yang kasar banyak terdapat di bagian utara yang merupakan hulu DAS Opak dan di bagian timur yang berbatasan dengan Perbukitan Baturagung. Sedangkan medan yang halus banyak terdapat di bagian tengah dan hilir atau di bagian selatan DAS Opak.

2. *Elevation Adjustment Factor (EAF)*

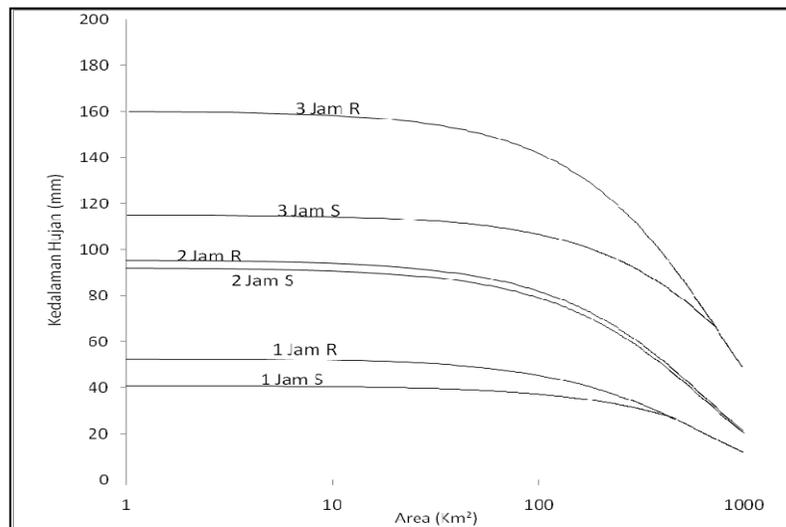
Elevation Adjustment Factor (EAF) adalah faktor penyesuaian rata-rata ketinggian DAS. EAF diperoleh dari perhitungan rata-rata ketinggian DAS yang diperkirakan dari peta kontur. Pada penentuan rata-rata ketinggian DAS digunakan selang kontur sebesar 100 m. Pertimbangan penyesuaian ketinggian jika rata-rata ketinggian DAS lebih dari 1500 m karena diperkirakan pada ketinggian di atas 1500 m pengaruh kelembaban serta angin sangat kecil untuk terjadinya hujan. Dari hasil perhitungan diperoleh rata-rata ketinggian DAS Opak sebesar 221,58 m. Karena rata-rata ketinggian DAS Opak kurang dari 1500 m, maka *Elevation Adjustment Factor (EAF)* DAS Opak adalah 1. Perolehan nilai rata-rata ketinggian DAS Opak adalah jumlah dari hasil perkalian luas antara garis kontur dengan rata-rata ketinggiannya dibagi dengan luas total DAS.

3. Moisture Adjustment Factor (MAF)

Pada penentuan MAF DAS Opak digunakan data kelembaban relatif dan suhu harian dari stasiun klimatologi Barongan, Plunyon, dan Adisucipto. Ketiga stasiun klimatologi tersebut dianggap dapat mewakili keadaan suhu serta kelembaban DAS Opak. Stasiun Barongan berada di bagian selatan, Stasiun Plunyon di bagian utara, dan Stasiun Adisucipto di bagian tengah dari DAS Opak. Berdasarkan hasil perhitungan nilai perbandingan *maximum precipitable water* dan *actual precipitable water* dari stasiun klimatologi yang ada di DAS Opak didapatkan nilai MAF sebesar 1,16 ~ 1,2. Nilai tersebut diperoleh dari rata-rata nilai MAF ketiga stasiun klimatologi yang ada di DAS Opak.

4. Hujan Permulaan

Untuk menentukan hujan permulaan pada medan yang kasar (D_R) dan medan yang halus (D_s) didapatkan dari kurva DDA seperti pada Gambar 1. Dari data stasiun hujan otomatis dipilih rekaman hujan yang memiliki durasi dan tebal hujan maksimum yang kemudian dibuat peta isohietnya untuk setiap durasi hujan. Dalam penelitian ini dibuat peta isohiet hujan maksimum dengan durasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam.



Gambar 1. Kurva DDA

5. Probable Maximum Precipitation (PMP) DAS Opak

Setelah hujan permulaan diperoleh dari kurva DDA maka dapat dihitung nilai PMP untuk DAS Opak. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai PMP DAS Opak

Durasi (Jam)	Hujan permulaan-Smooth (D _s)	Hujan permulaan-Rough (D _R)	Perkiraan PMP = $(S \times D_s + R \times D_R) \times \text{MAF} \times \text{EAF}$	Pembulatan perkiraan PMP (mm)
1	27	31	36,2	36
2	53	58	68,4	68
3	85	105	121,4	121

Sumber : Hasil Perhitungan

Hujan permulaan *smooth* (D_s) untuk durasi 1 jam diperoleh dari kurva DDA 1 jam S untuk luas DAS Opak yaitu 638,89 km², sehingga diperoleh hujan permulaan *smooth* sebesar 27 mm. Hujan permulaan *rough* (D_R) untuk durasi 1 jam diperoleh dari kurva DDA 1 jam R untuk luas DAS Opak yaitu 638,89 km², sehingga diperoleh hujan permulaan *rough* sebesar 31 mm. Penentuan hujan permulaan untuk durasi 2 jam dan 3 jam diperoleh dengan cara yang sama dengan penentuan hujan permulaan pada durasi 1 jam.

Perkiraan PMP dihitung menggunakan rumus GSDM dengan memperhitungkan nilai MAF dan EAF, sehingga diperoleh nilai PMP untuk setiap durasi. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai PMP semakin bertambah seiring dengan bertambahnya durasi hujan. Semakin lama hujan berlangsung maka tebal hujan maksimum yang dihasilkan juga akan bertambah.

6. Distribusi Keruangan PMP DAS Opak

Nilai PMP yang diperoleh menggunakan metode GSDM adalah nilai untuk DAS secara keseluruhan. Jadi bukan nilai PMP *point rainfall* dimana setiap stasiun hujan mempunyai satu nilai. Sehingga untuk mengetahui distribusi keruangannya tidak menggunakan metode isohiet karena metode isohiet membutuhkan data yang berupa *point*. Distribusi keruangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah distribusi keruangan menggunakan diagram elips yang merupakan diagram yang baku, dikembangkan oleh Bureau of Meteorology. Sehingga dalam penggunaannya diagram elips *dioverlay* dengan peta daerah penelitian dengan skala output yang sesuai.

Peta persebaran PMP untuk durasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam pada Gambar 2, 3, dan 4 dapat menunjukkan pusat elips ada di daerah sekitar Kota Yogyakarta dengan nilai PMP sebesar 61 mm. Daerah tersebut dekat dengan daerah padat pemukiman atau daerah dengan kegiatan yang menghasilkan panas lebih tinggi dari daerah di sekitarnya. Hujan yang jatuh pada daerah tersebut dikenal dengan hujan konvektif yang menghasilkan hujan lebat dengan durasi pendek. Selain panas dari kegiatan-kegiatan yang ada di daerah tersebut, panas radiasi matahari juga turut

mempengaruhi akibat radiasi yang datang sedikit yang diserap tanah dan banyak yang dipantulkan oleh bangunan-bangunan yang ada di daerah tersebut.

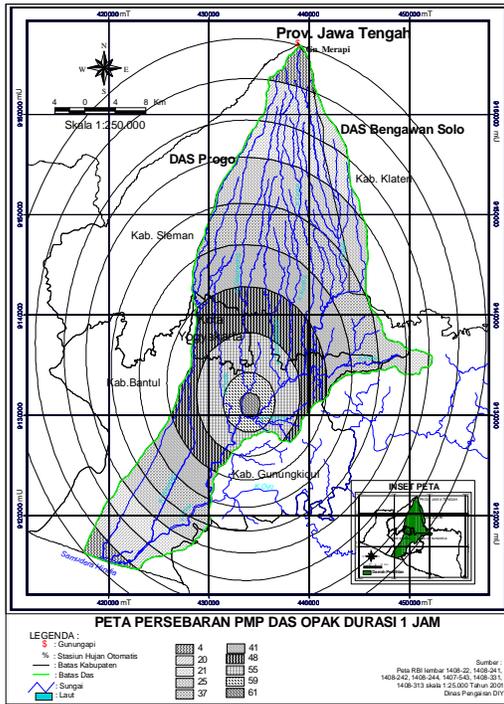
Nilai PMP terendahnya ada di bagian paling utara dan paling selatan DAS Opak atau berada pada elips terluar. Hal tersebut kemungkinan karena pada bagian paling utara DAS Opak merupakan daerah yang hujannya kecil walaupun memiliki elevasi yang tinggi. Karena ketinggiannya melebihi batas kondensasi, sehingga uap air yang datang tidak sanggup naik sampai pada batas ketinggian daerah tersebut. Oleh karena itu, kemungkinan terjadinya hujan juga akan semakin kecil. Pada daerah paling selatan DAS Opak untuk durasi hujan 1 jam nilai PMPnya paling kecil walaupun berbatasan dengan laut sebagai sumber uap air yang banyak. Hal tersebut disebabkan karena uap air yang dihasilkan akan cepat terbawa oleh angin ke daerah tujuan angin tersebut dengan membawa uap air tersebut sehingga hujan jatuh pada daerah tujuan angin.

Adanya perbedaan nilai PMP pada setiap daerah disebabkan oleh perbedaan kondisi daerah setempat seperti luas daerah yang berbeda, ketinggian tempat, jarak terhadap sumber uap air dan angin. Pada daerah yang sempit hujan yang jatuh dengan jumlah yang sama memiliki tebal hujan yang besar dibandingkan pada daerah yang luas. Daerah yang memiliki ketinggian lebih tinggi akan menghasilkan hujan yang lebih besar juga, namun pada ketinggian sampai pada batas kondensasi hujan tidak dapat terbentuk karena letak daerah yang terlalu tinggi menyebabkan uap air tidak dapat naik sampai pada ketinggian tersebut. Uap air tersebut akan terkondensasi menjadi hujan sebelum mencapai ketinggian daerah tersebut. Jarak sumber uap air juga berpengaruh terhadap perbedaan nilai PMP pada suatu daerah, semakin dekat dengan sumber uap air maka hujan yang turun semakin banyak. Namun hal tersebut tidak berlaku jika pengaruh angin lebih besar, karena angin akan membawa uap air yang seharusnya jatuh sebagai hujan di dekat sumber uap air menjadi jatuh di daerah tujuan angin tersebut. Sehingga tidak selamanya daerah pantai memiliki curah hujan yang tinggi.

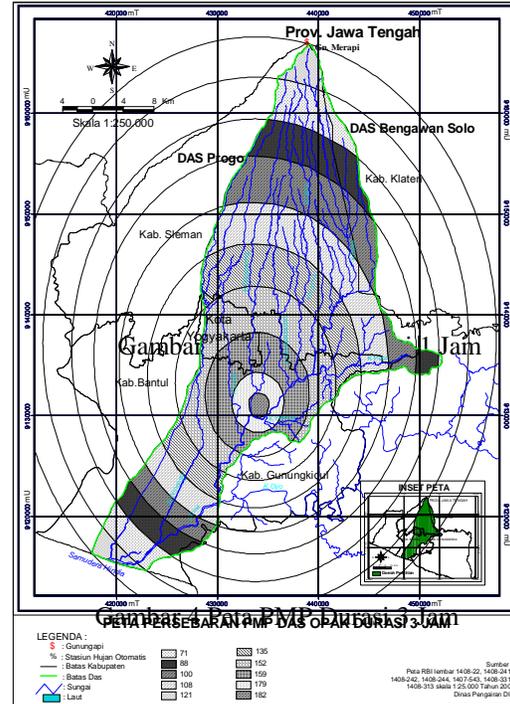
7. Kurva Massa PMP DAS Opak

Curah hujan daerah pada suatu waktu tertentu dalam daerah yang bersangkutan, dapat ditentukan dari kurva massa. Untuk skala waktu banyak digunakan persentase waktu karena dengan cara ini, untuk setiap persentase waktu dapat segera diketahui besarnya nilai PMP yang mungkin terjadi. Nilai PMP 100% adalah sama dengan nilai PMP pada durasi 3 jam yaitu 121 mm. Selanjutnya dari kurva massa tersebut dapat diketahui nilai PMP pada durasi 50 % atau setengah dari durasi maksimumnya yaitu 3 jam. Kurva massa PMP untuk DAS Opak dapat dilihat pada Gambar 5.

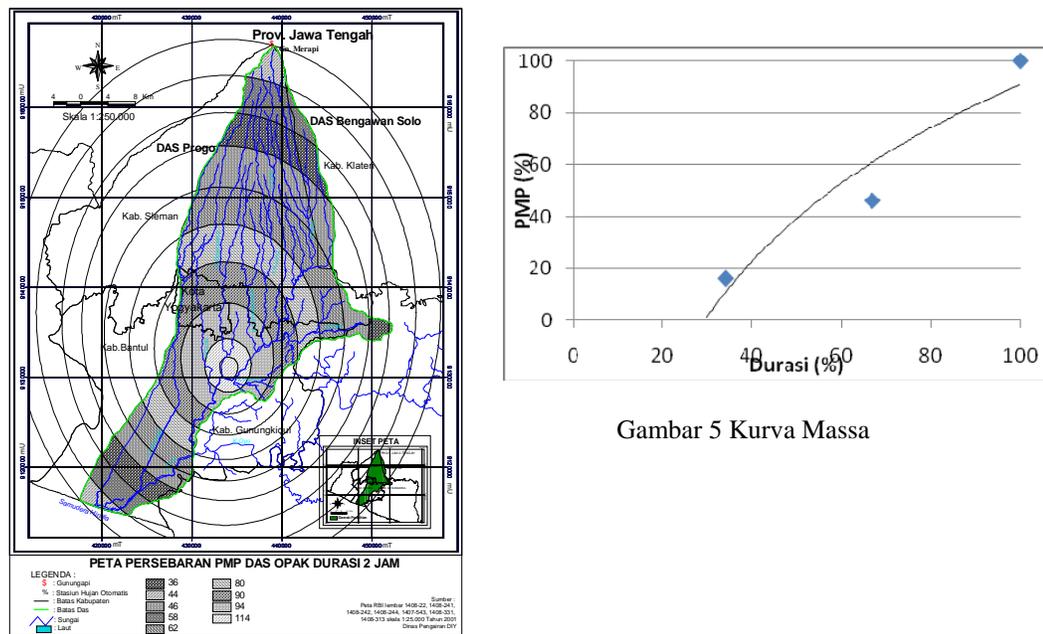
Penentuan nilai PMP dapat digunakan untuk analisis yang berkaitan dengan PMP misalnya untuk penentuan nilai PMF (*Probable Maximum Flood*). perencanaan bangunan air seperti pembangunan bendungan maupun waduk penentuan tingkat bahaya erosi akibat air hujan yang jatuh. Dalam penentuan tingkat bahaya erosi, hujan maksimum digunakan untuk menentukan nilai erodibilitas yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan tingkat bahaya erosi.



Gambar 3 Peta PMP Durasi 1 Jam



Gambar 4 Peta PMP Durasi 3 Jam



Gambar 3 Peta PMP Durasi 2 Jam

Gambar 5 Kurva Massa

KESIMPULAN

1. Durasi maksimum di DAS Opak adalah 3 jam. Nilai PMP DAS Opak untuk durasi maksimum selama 3 jam adalah 121 mm. Untuk durasi hujan selama 1 jam adalah sebesar 36 mm dan untuk durasi selama 2 jam adalah sebesar 68 mm. Dari nilai-nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai PMP di DAS Opak meningkat seiring dengan bertambahnya durasi kejadian hujan. Semakin lama hujan berlangsung maka tebal hujan maksimum yang dihasilkan juga akan bertambah.
2. Distribusi spasial nilai PMP di DAS Opak untuk durasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam pada umumnya memiliki pola persebaran yang hampir sama. Pusat elips berada pada bagian tengah DAS Opak dan memiliki nilai PMP terbesar. Faktor yang diperkirakan mempengaruhi persebaran tersebut karena perbedaan ketinggian, sumber uap air, serta kondisi medan. Sedangkan distribusi per periode kejadian hujan, nilai PMP di DAS Opak disajikan dalam bentuk kurva massa sehingga dengan mudah dapat mengetahui nilai PMP untuk durasi lainnya yang kurang dari 3 jam. Hal tersebut karena durasi maksimum untuk kurva massa DAS Opak adalah 3 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari skripsi saya yang berjudul sama dibawah bimbingan ibu Emilya Nurjani, S.Si., M.Si. Skripsi ini telah diuji pada tanggal 28 April 2009 dengan penguji Bapak Drs. Suyono, M.S, Bapak Dr. Nurul Khakim, M.S dan Ibu Emilya Nurjani, S.Si., M.Si.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay., 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Bureau of Meteorology., 2003. *The Estimation of Probable Maximum Precipitation in Australia, Generalised Short-Duration Method Bulletin 53*. Canberra: AGPS.
- Harto, Sri., 2000. *Hidrologi, Teori, Masalah, dan Penyelesaiannya*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Koesnomihardjo, Hadi Suyitno., 1976. Hujan Maksimum yang Mungkin Terjadi Harian Serta Penyebarannya di Daerah Sungai Serayu. *Skripsi S1*. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM.
- Sosrodarsono, S. dan Takeda, K., 1977. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: Pradyna Paramita.
- Subarkah, Imam., 1980. *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma.
- Triatmodjo, Bambang., 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wiesner, C. J., 1970. *Hydrometeorology*. London: Chapman and Hall Ltd.
- Wilson, E.,M., 1993. *Hidrologi Teknik*. Bandung: ITB.