

# STUDI PENATAAN KAWASAN DAS LESTI BERDASAR NERACA AIR

Dedi Madila (2120512047)

## ABSTRAK

Sungai besar ini mempunyai peran penting bagi masyarakat disepanjang sungai, yaitu sebagai sumber pengairan, sumber air bersih dan sumber daya pembangkit tenaga listrik. Sub DAS Lesti adalah salah satu contoh yang merupakan Sub DAS prioritas, dimana wilayah tersebut mempunyai permasalahan yang kompleks terhadap kerusakan lahan, erosi, tanah longsor, fluktuasi debit sungai, kelebihan (surplus) atau kekurangan (defisit) dan sedimentasi yang cukup tinggi, sehingga memerlukan upaya penanganan penataan kawasan yang serius untuk mencegah kerusakan lebih lanjut lagi. Studi ini dilaksanakan pada DAS Lesti di Propinsi Jawa Timur. Dimana secara geografis, DAS Lesti terletak antara 07°45'48"LS dan 112°35'48"BT. DAS Lesti mempunyai luas sebesar 58.385 ha. Analisa Hujan Rata-rata Daerah menggunakan cara Poligon Thiessen. Untuk menganalisa Evapotranspirasi menggunakan Program Cropwat 8.0. Besarnya curah hujan rata-rata di DAS Lesti adalah bulan Januari 355 mm, Februari 213 mm, Maret 354 mm, April 74 mm, Mei 79 mm, Juni 0,5 mm, Juli 2 mm, Agustus 0 mm, September 3 mm, Oktober 53 mm, November 136 mm, Desember 374 mm. Besarnya Evapotranspirasi DAS Lesti tahun 2012 adalah bulan Januari 0,06 mm/hr, Februari 0,03 mm/hr, Maret 0,36 mm/hr, April 1,19 mm/hr, Mei 2,09 mm/hr, Juni 2,52 mm/hr, Juli 2,24 mm/hr, Agustus 1,43 mm/hr, September 0,55 mm/hr, Oktober 0,08 mm/hr, November 0,04 mm/hr, Desember 0,02 mm/hr. Berdasarkan hasil perhitungan neraca air Defisit air terjadi selama 7 bulan yaitu mulai bulan Mei sampai November dengan total sebesar 755,93 mm. Sedangkan pada bulan Januari sampai April terjadi surplus air sebesar 571 mm. Surplus dan Defisit Selama setahun masih terdapat perbedaan yang cukup besar sehingga surplus air di bulan berikutnya sangat sedikit, untuk mengantisipasi agar ketersediaan air DAS seimbang maka perlu penataan kawasan di DAS Lesti dengan memperbesar lahan semak belukar sebesar 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, dan seterusnya sebagai perencanaan seperti yang tertera pada skenario 1, 2, 3, dan 4 maka surplus air akan bertambah yaitu didapat 1142,4 mm, 1195,5 mm, 1243,6 mm, 1293,6 mm, 1342,7 mm sehingga defisit air akan berkurang dan dapat menghindari kekeringan lahan. Dari hasil perhitungan dapat direkomendasikan sebagai berikut, Total Defisit air selama setahun bila dibandingkan dengan total Surplus selama setahun masih terdapat perbedaan yang cukup besar sehingga untuk mengantisipasi agar ketersediaan air DAS seimbang maka perlu penataan kawasan di DAS Lesti dengan menggunakan perencanaan seperti skenario 1, 2, 3, dan 4.

**Kata Kunci :** Neraca Air, Das Lesti, Defisit.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Di bumi terdapat kira-kira sejumlah 1,3-1,4 milyar km<sup>3</sup> air : 97,5% adalah air laut, 1,75% berbentuk es dan 0,73% berada didataran sebagai air sungai, air danau, air

tanah dan sebagainya.hanya 0,001% berbentuk uap di udara. Air di bumi ini mengulangi terus menerus sirkulasi penguapan, presipitasi dan pengaliran keluar (*outflow*). Air menguap keudara dari permukaan tanah dan laut,berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses dan kemudian jatuh sebagai hujan atau salju kepermukaan laut atau daratan. Sebelum tiba dipermukaan bumi sebagian langsung menguap keudara dan sebagian tiba kepermukaan bumi.tidak semua bagian hujan yang jatuh kepermukaan bumi mencapai permukaan tanah. Sebagian akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan dimana sebagian akan menguap dan sebagian lagi akan jatuh atau mengalir melalui dahan-dahan kepermukaan tanah. Seperti telah dikemukakan tersebut, sirkulasi yang kontinu antara air laut dan air daratan berlangsung terus.Sirkulasi air ini disebut siklus hidrologi (*hydrological cycle*). (Sumber : Sunaryo, dkk, 2005 : 1 )

Tetapi sirkulasi air ini tidak merata, karena kita melihat perbedaan besar presipitasi dari tahun ke tahun, dari musim ke musim yang berikut dan juga dari wilayah ke wilayah yang lain. Sirkulasi air ini dipengaruhi oleh kondisi meteorologi (suhu, tekanan atmosfer, angin dan lain-lain) dan kondisi topografi; kondisi meteorologi adalah faktor-faktor yang menentukan. Air permukaan tanah dan air tanah yang dibutuhkan untuk kehidupan dan produksi adalah air yang terdapat dalam proses sirkulasi ini. Jadi jika sirkulasi ini tidak merata maka akan terjadi bermacam-macam kesulitan, jika terjadi sirkulasi yang lebih, seperti banjir, maka harus diadakan pengendalian banjir. (Sumber : Sunaryo, dkk, 2005 : 1)

#### **Identifikasi Masalah**

1. Masih diperlukan penataan di sekitar kawasan DAS Lesti.
2. Tidak seimbangny masalah air yang terjadi di wilayah DAS Lesti antara air

masuk dan air keluar yang bisa berakibatkan banjir ataupun kekeringan.

#### **Rumusan Masalah**

1. Berapakah besarnya curah hujan rata-rata di DAS Lesti ?
2. Berapakah besarnya evapotranspirasi DAS Lesti tahun 2012 ?
3. Berapakah neraca air Das Lesti?
4. Bagaimana penataan kawasan Das Lesti berdasarkan neraca air ?

#### **Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dari penelitian ini adalah :Mendapatkan alternatif penataan kawasan DAS dengan menggunakan informasi tentang tataguna lahan dan neraca air DAS.Sedangkan manfaat yang diperoleh dari studi ini adalah menghasilkan sebuah kajian tentang kondisi keseimbangan air untuk menjadi masukan khususnya kepada pengelola sumberdaya air di DAS Lesti yaitu Dinas Pengairan yang termasuk ke dalam DAS Lesti dan Dinas Pengairan Propinsi Jawa Timur, guna mewujudkan pengelolaan sumberdaya air yang lebih baik dan berkelanjutan.

#### **Lingkup Pembahasan**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka lingkup pembahasan pada masalah tersebut dibatasi agar bahasan dapat mengarah sesuai dengan tujuan. Adapun lingkup pembahasan adalah sebagai berikut :

1. Analisa Hidrologi.
  - 1.1 Uji konsistensi data hujan.
  - 1.2 Korelasi.
  - 1.3 Perhitungan hujan rata-rata daerah.
2. Analisa Evapotranspirasi.
  - 2.1.Perhitungan Evapotranspirasi.
    - 2.1.1. Perhitungan Evapo. Indeks Panas.
    - 2.2.2. Evapo. Potensial Sebelum Terkoreksi.
    - 2.2.3. Evapo. Potensial Setelah Terkoreksi.
  - 2.2. P – EP.
- 2.3. Akumulasi Potensi Kehilangan Air.

- 2.4. Tataguna Lahan.
  - 2.4.1. Cadangan Lengas Tanah (ST).
- 3. Analisa Neraca Air.
  - 3.1. Perhitungan Neraca Air.
    - 3.1.1. Cadangan Lenfas Tanah Negatif (ST).
    - 3.1.2. Perubahan Lengas Tanah ( $\Delta ST$ ).
    - 3.1.3. Evapotranspirasi Aktual (AE).
    - 3.1.4. Defisit (D).
    - 3.1.5. Surplus (S).
    - 3.1.6. *Runoff*.
- 4. Penataan Kawasan DAS Lesti.

### TINJAUN PUSTAKA

Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari air dalam segala bentuknya (cairan, gas, padat) pada, dalam, dan diatas permukaan tanah. Termasuk didalamnya adalah penyebaran, daur dan perilakunya, sifat-sifat fisika dan kimianya, serta hubungannya dengan unsur-unsur hidup dalam air itu sendiri. Sedangkan hidrologi DAS itu sendiri adalah cabang dari ilmu hidrologi yang mempelajari pengaruh pengelolaan vegetasi dan lahan di daerah tangkapan air bagian hulu (*upper catcment*) terhadap daur air, termasuk pengaruhnya terhadap erosi, kualitas air, banjir, dan iklim di daerah hulu dan hilir. (Sumber : Asdak, 2004 : 4)

Secara alamiah daur hidrologi dapat ditunjukkan seperti terlihat pada gambar 2.2, dimana selama berlangsungnya daur hidrologi tersebut air melakukan perjalanan dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah dan kembali lagi ke laut dan seterusnya tidak pernah berhenti, air tersebut akan tertahan (sementara) di sungai, danau, waduk, dan dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia atau makhluk hidup lainnya. (Sumber : Soemarto, 1999 : 205)

Tabel 1. Ketersediaan Sumberdaya Air Primer di Indonesia.

### Uji Konsistensi Data

Ketelitian hasil perhitungan dalam ramalan hidrologi sangat diperlukan, yang

tergantung dari konsistensi data itu sendiri. Dalam suatu rangkaian cara pengamatan hujan dapat timbul non-homogenitas dan tidak kesesuaian, yang dapat mengakibatkan penyimpangan dalam perhitungan, adapun non-homogenitas tersebut bias disebabkan berbagai faktor :

1. Perubahan mendadak pada sistem lingkungan hidolis, misalnya karena adanya pembangunan gedung – gedung atau tumbuhnya pohon – pohon, karena gempa bumi, meletusnya gunung berapi, dan lain-lain.
2. Pemindehan alat ukur.
3. Perubahan cara pengukuran ( misalnya berhubung dengan adanya alat baru atau metode baru ).

Untuk memperbaiki non-homogenitas digunakan kurva massa ganda, yang mana dasar cara membandingkan curah hujan tahunan kumulatif dari stasiun yang diteliti dengan harga curah hujan rata-rata dari suatu jaringan stasiun dasar yang bersesuaian pada umumnya, metode ini disusun dengan urutan kronologis mundur, dan dimulai dari tahun yang terakhir lebih dahulu. (Sumber : Soemarto, 1999 : 214)

### Korelasi

Analisa korelasi adalah bentuk analisis (statistik) yang menunjukkan kuatnya hubungan antara dua variabel, berikut ini akan dikemukakan cara perhitungan korelasi (  $r$  ) dan interpretasi grafis dari koefisien korelasi yang dihasilkannya.

Rumus :

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2) \cdot (\sum (y_i - \bar{y})^2)}}$$

Besarnya korelasi (  $r$  ) menunjukkan kuatnya korelasi linier antara dua variabel  $x$  dan  $y$ . besarnya korelasi berkisar antara -1 sampai dengan nilai 1. Nilai  $r$  sama dengan atau

mendekati 0 menunjukkan bahwa hubungan antara dua variabel  $x$  dan variabel  $y$  sangat kecil atau tidak ada korelasi linier sama sekali. Sebaliknya, ketika besarnya  $r$  mendekati -1 atau 1, ada korelasi linier kuat antara dua variabel tersebut diatas. Apabila  $r = -1$  atau  $r = 1$ , maka semua sampel data jatuh tepat pada garis linier regresi. (*least squares line*). Angka  $r$  positif menunjukkan korelasi linier positif antara kedua variabel  $x$  dan  $y$ , artinya besarnya variabel  $y$  meningkat dengan meningkatnya variabel  $x$ . Sementara angka  $r$  negatif menunjukkan hal yang sebaliknya, yaitu besarnya variabel  $y$  menurun ketika angka variabel  $x$  bertambah besar. Sebagai aturan umum dapat ditentukan bahwa korelasi antara dua variabel adalah lemah apabila  $0 \leq |r| \leq 0,5$  dan mempunyai korelasi kuat apabila  $0,8 \leq |r| \leq 1$ . (Sumber : Asdak, 2004 : 290)

### Curah Hujan

Ketersediaan air hujan yang dimaksud adalah volume air hujan rata-rata tahunan pada DAS Lesti yang dihitung guna mengetahui berapa sebenarnya volume air rata-rata tahunan yang diterima sistem hidrologi pada DAS Lesti.

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut sebagai curah hujan daerah dan dinyatakan dalam millimeter. (Sumber : S.Sosrodarsono, 1999 :27)

### Evaporasi

Evaporasi adalah berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan air ke udara. Evaporasi merupakan faktor yang penting dalam studi tentang pengembangan sumber-sumber daya air. Evaporasi sangat mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, besarnya kapasitas pompa

untuk irigasi, penggunaan konsumtif (*consumptive use*) untuk tanaman dan lain-lain.

### Transpirasi

Transpirasi adalah suatu proses air di dalam tumbuhan dilimpahkan ke dalam atmosfer sebagai uap air ( Subarkah, 1980:39).

Dalam kondisi lapangan tidaklah mungkin untuk membedakan antara evaporasi dan transpirasi jika tanahnya tertutup tumbuh-tumbuhan. Kedua proses tersebut (evaporasi dan transpirasi) saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi. Proses transpirasi berjalan terus hampir sepanjang hari di bawah pengaruh sinar matahari. (Soemarto,1986:44).

### Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah gabungan dari proses penguapan air bebas (evaporasi) dan penguapan air melalui tanaman (transpirasi) (Suhardjono,1994:11).

Evapotranspirasi merupakan faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air dalam rencana irigasi dan merupakan proses yang penting dalam siklus hidrologi.

### Pengertian Neraca Air

Pengertian dan Definisi dari Neraca air adalah air yang diterima dikurangi air yang hilang, sama dengan air yang tersimpan. Nilai neraca air dapat menjadi positif (+) atau negative (-). Air yang diterima misalnya curah hujan, dan adanya irigasi sedangkan air yang hilang misalnya evaporasi dan transpirasi, intersepsi, dan air yang mengalir di sungai, dan akhirnya ke laut. Air merupakan komponen yang penting dalam kehidupan. Namun air yang melimpah pada saat turun hujan dapat mengakibatkan banjir yang membawa bencana.

Neraca air (*water balance*) merupakan neraca masukan dan keluaran air disuatu tempat pada periode tertentu, sehingga dapat untuk mengetahui jumlah air tersebut

kelebihan (surplus) ataupun kekurangan (defisit). Kegunaan mengetahui kondisi air pada surplus dan defisit dapat mengantisipasi bencana yang kemungkinan terjadi, serta dapat pula untuk mendayagunakan air sebaik-baiknya.

### Konsep Dasar Neraca Air

Dalam siklus hidrologi terdapat hubungan antara masukan air total dengan keluaran air total yang dapat terjadi pada suatu DAS tertentu, hubungan itu umumnya disebut dengan neraca air. Dari neraca air ini dapat diketahui potensi sumberdaya air yang masih belum dimanfaatkan dengan optimal.

Secara kuantitatif, neraca air menggambarkan prinsip bahwa selama periode waktu tertentu masukan air total sama dengan keluaran air total ditambah dengan perubahan air cadangan (*change in storage*). Nilai perubahan air cadangan ini dapat bertanda positif atau negatif.

Konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antarjumlah air yang masuk ke, yang tersedia di, dan yang keluar dari sistem (sub sistem) tertentu. Secara umum persamaan neraca air dirumuskan dengan. (Sumber : Sri Harto Br. 2000:225)

$$I = O \pm \Delta S$$

dengan : I = masukan (*inflow*)

O = keluaran (*outflow*)

### Macam-macam Neraca Air

1. Model Neraca Air Umum
2. Model Neraca Air Lahan
3. Model Neraca Air Tanaman.

### Manfaat Neraca Air

1. Digunakan sebagai dasar pembuatan bangunan penyimpanan dan pembagi air serta saluran-salurannya. Hal ini terjadi jika hasil analisis neraca air didapat banyak bulan-bulan yang defisit air.

2. Sebagai dasar pembuatan saluran drainase dan teknik pengendalian banjir. Hal ini terjadi jika hasil analisis neraca air didapat banyak bulan-bulan yang surplus air.
3. Sebagai dasar pemanfaatan air alam untuk berbagai keperluan pertanian seperti tanaman pangan – hortikultura, perkebunan, kehutanan hingga perikanan.

### Komponen Neraca Air

Dalam menghitung neraca air ada beberapa komponen yang perlu diperhatikan, antara lain : Kapasitas menyimpan air (jumlah ruang pori), Infiltrasi, Run off, Evapotranspirasi, Curah hujan.

### Hubungan Neraca Air dengan Siklus Hidrologi

Dalam konsep siklus hidrologi bahwa jumlah air di suatu luasan tertentu di permukaan bumi dipengaruhi oleh besarnya air yang masuk (input) dan keluar (output) pada jangka waktu tertentu. Semakin cepat siklus hidrologi terjadi maka tingkat neraca air nya semakin

dinamis. Kesetimbangan air dalam suatu sistem tanah dan tanaman dapat digambarkan melalui sejumlah proses aliran air yang terjadi yang berlangsung dalam satuan waktu yang berbeda-beda.

### Konsep Pengelolaan DAS

Dampak lain dari pengelolaan DAS yang baik adalah peningkatan produktivitas lahan karena peningkatan resapan air hujan ke dalam tanah akan menambah kadar lengas tanah (*soil moisture*). (Sumber : Asdak, 2004 : 319)

### Penataan Tataguna Lahan

Kegiatan tataguna lahan yang bersifat merubah tipe atau jenis penutup lahan dalam suatu DAS seringkali dapat memperbesar atau memperkecil hasil air (*water yield*). Pada batas – batas tertentu, kegiatan ini juga dapat mempengaruhi status kualitas air. Pengelolaan Vegetasi, khususnya vegetasi hutan, telah lama dipercayai dapat mempengaruhi waktu dan

penyebaran aliran air. Beberapa pengelola DAS bahkan beranggapan bahwa hutan dapat dipandang sebagai pengatur aliran air (*streamflow regulator*), artinya bahwa hutan dapat menyimpan air selama musim hujan dan melepaskannya pada musim kemarau. Konsekuensi logis dari adanya anggapan seperti itu adalah bahwa keberadaan hutan lalu dapat menghidupkan mata-mata air yang telah lama tidak mengalirkan air, keberadaan hutan dapat mencegah terjadinya banjir dan kemudian menjadi kelihatan logis bahwa hilangnya areal hutan akan mengakibatkan terjadinya kekeringan atau bahkan dapat mengubah daerah yang sebelumnya tampak hijau dan subur menjadi daerah seperti padang pasir (*desertification*). (Sumber : Asdak, 2004 : 383).

**Lokasi Penelitian**

Studi ini dilaksanakan pada DAS lesti di Kabupaten Malang, kurang lebih 25 km di bagian Selatan kota Propinsi Jawa Timur. Ketinggian Sub DAS Lesti berkisar antara 235 - 3676 mdpl (di atas permukaan laut). Berdasarkan Data yang di dapat diketahui bahwa luas seluruh Sub DAS Lesti adalah 19.648 ha. Daerah berupa Sungai, kebun, padang rumput, pemukiman, sawah irigasi, semak belukar, tanah ladang, sawah tadah hujan.

**Waktu Penelitian**

Studi ini direncanakan berlangsung dalam waktu satu tahun yaitu tahun 2013. Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi pengumpulan data, pengamatan di lapangan, analisis data, dan penulisan laporan.

**Metode Pengumpulan Data**

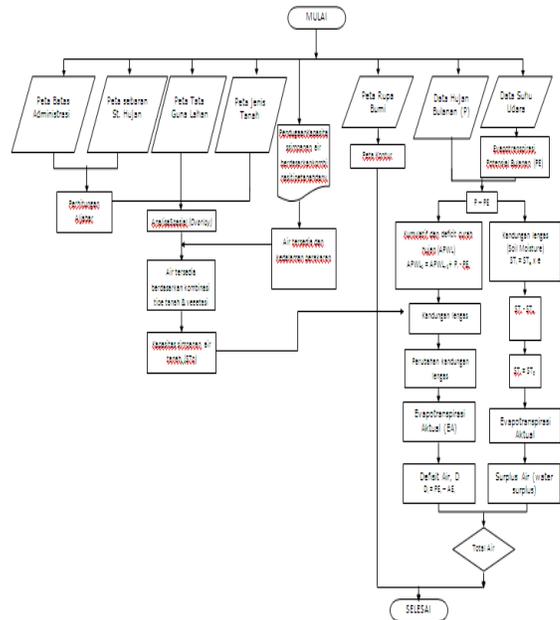
Di dalam penelitian ini menggunakan pendekatan metode survei, yaitu perolehan data dari instansi terkait atau secara tidak langsung. Adapun data yang digunakan adalah

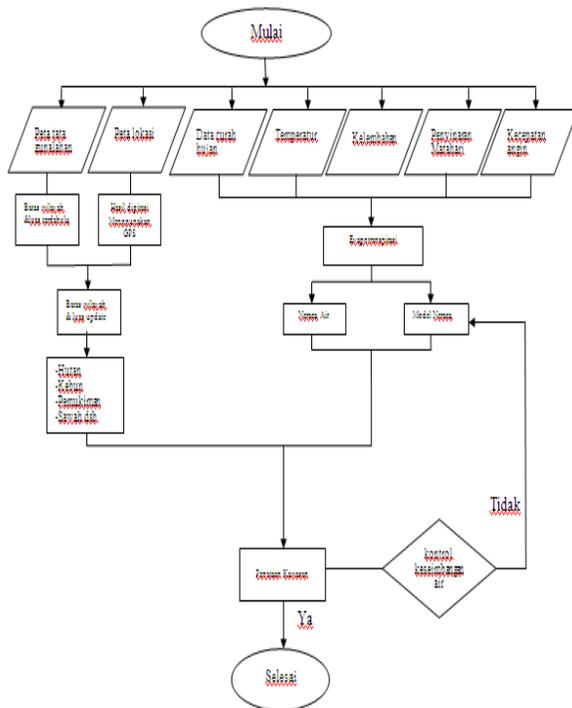
1. Data curah hujan bulanan tahun 2012.
2. Peta lokasi.
3. Data klimatologi tahun 2012.
4. Peta tata guna lahan.

Data iklim yang digunakan meliputi, curah hujan, radiasi matahari, suhu udara, kelembaban relatif, dan kecepatan angin. Data iklim ini diperoleh dari Stasiun Klimatologi Karangploso.

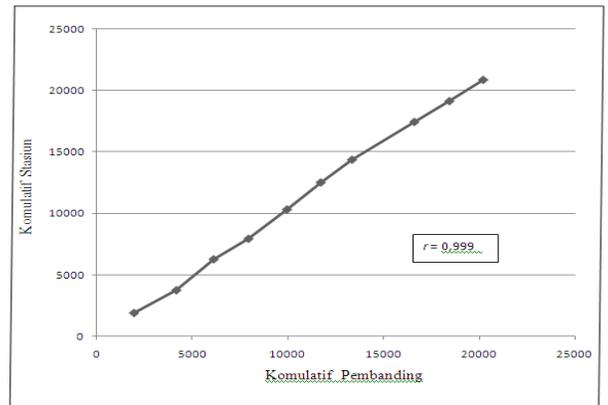
Data curah hujan diperoleh dari beberapa stasiun penakar hujan yang ada pada lokasi penelitian. Adapun Stasiun penakar hujan yang dipakai di lokasi penelitian dan sekitarnya, yaitu : Stasiun Poncokusumo, Stasiun Dampit, Stasiun Tumpakrenteng, Stasiun Pagak. Data curah hujan yang dipakai adalah tahun 2012 yang diperoleh dari BMKG Karangploso Malang.

**Bagan Alir**





Grifik 1. Lengkung Massa Ganda Stasiun Dampit



### Analisa Hujan Rata-rata Daerah

Tabel 2. Curah hujan rata-rata

| Bulan     | Stasiun Poncosukumo (mm) | Stasiun Dampit (mm) | Stasiun Tumpukrenteng (mm) | Stasiun Pagak (mm) | Rata-rata (mm) |
|-----------|--------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------|----------------|
| Januari   | 402                      | 338                 | 351                        | 328                | 354,75         |
| Februari  | 307                      | 218                 | 134                        | 190                | 212,75         |
| Maret     | 345                      | 331                 | 322                        | 421                | 354,25         |
| April     | 107                      | 42                  | 19                         | 128                | 74             |
| Mei       | 58                       | 39                  | 50                         | 168                | 78,75          |
| Juni      | 0                        | 0                   | 2                          | 0                  | 0,5            |
| Juli      | 0                        | 0                   | 9                          | 0                  | 2,25           |
| Agustus   | 0                        | 0                   | 0                          | 0                  | 0              |
| September | 0                        | 0                   | 1                          | 10                 | 2,75           |
| Oktober   | 59                       | 45                  | 17                         | 93                 | 53,5           |
| November  | 212                      | 101                 | 41                         | 191                | 136,25         |
| Desember  | 346                      | 438                 | 379                        | 333                | 374            |

Sumber : Hasil Perhitungan.

## PEMBAHASAN

### Uji Konsistensi Data Hujan

Tabel 1. Uji Konsistensi Hujan Stasiun Dampit

| Tahun | Stasiun Dampit | Kumulatif Stasiun Dampit | Stasiun Poncosukumo | Stasiun Tumpukrenteng | Stasiun Pagak | Rerata Pembanding | Kumulatif Pembanding |
|-------|----------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|---------------|-------------------|----------------------|
| [1]   | [2]            | [3]                      | [4]                 | [5]                   | [6]           | [7]               | [8]                  |
| 2003  | 1921           | 1921                     | 2453                | 1960                  | 1468          | 1960,333          | 1960,333             |
| 2004  | 1850           | 3771                     | 2735                | 2210                  | 1696          | 2213,667          | 4174,000             |
| 2005  | 2510           | 6281                     | 2168                | 2106                  | 1573          | 1949,000          | 6123,000             |
| 2006  | 1662           | 7943                     | 2063                | 2030                  | 1371          | 1821,333          | 7944,333             |
| 2007  | 2385           | 10328                    | 1790                | 2307                  | 1945          | 2014,000          | 9958,333             |
| 2008  | 2193           | 12521                    | 1911                | 2061                  | 1319          | 1763,667          | 11722                |
| 2009  | 1851           | 14372                    | 2191                | 1782                  | 933           | 1635,333          | 13357,333            |
| 2010  | 3062           | 17434                    | 3366                | 4077                  | 2334          | 3259,000          | 16616,000            |
| 2011  | 1693           | 19127                    | 1956                | 1973                  | 1577          | 1835,333          | 18451,666            |
| 2012  | 1725           | 20852                    | 1896                | 1531                  | 1865          | 1764,000          | 20215,666            |

### Evapotranspirasi

Data meteorologi yang dipakai pada penelitian ini diambil dari Badan Meteorologi dan Geofisika Karangploso pada pos stasiun yang terletak pada koordinat 7° 53' LS dan 122° 21' BT dengan elevasi 575 m. Data yang diperoleh adalah temperatur, kelembaban, penyinaran matahari, kecepatan angin dan tekanan udara pada tahun 2012. Perhitungan evapotranspirasi pada penelitian ini memakai program komputer *CropWAT 8 Window*

Gambar 1. Perhitungan Evapotranspirasi

| Month     | Min Temp | Max Temp | Humidity | Wind   | Sun  | Rad                    | ETo    |
|-----------|----------|----------|----------|--------|------|------------------------|--------|
|           | °C       | °C       | %        | km/day | hour | MJ/m <sup>2</sup> /day | mm/day |
| January   | 21.2     | 27.6     | 83       | 17     | 8.2  | 4.1                    | 6.88   |
| February  | 20.0     | 26.5     | 81       | 5      | 8.4  | 8.2                    | 6.83   |
| March     | 20.9     | 27.7     | 77       | 8      | 8.3  | 2.1                    | 6.36   |
| April     | 20.2     | 28.9     | 76       | 7      | 8.6  | 5.6                    | 7.18   |
| May       | 19.9     | 28.0     | 74       | 7      | 8.6  | 9.4                    | 2.89   |
| June      | 18.6     | 27.9     | 72       | 7      | 8.6  | 11.4                   | 2.52   |
| July      | 17.0     | 26.7     | 75       | 7      | 8.6  | 18.4                   | 2.04   |
| August    | 17.1     | 27.7     | 73       | 8      | 8.7  | 7.8                    | 1.43   |
| September | 18.1     | 28.3     | 69       | 8      | 8.7  | 3.3                    | 0.55   |
| October   | 19.7     | 30.3     | 71       | 8      | 8.7  | 8.6                    | 0.88   |
| November  | 21.1     | 29.5     | 78       | 6      | 8.5  | 4.1                    | 0.84   |
| December  | 20.8     | 26.6     | 85       | 5      | 8.4  | 4.1                    | 0.82   |
| Average   | 19.6     | 28.6     | 76       | 8      | 8.5  | 4.7                    | 0.89   |

Gambar 4. 3Crop-WF47 & Window  
Sumber: Hasil Pengolahan Data

### Perhitungan Evapotranspirasi Indeks Panas

Indeks panas ( I ) dalam satu tahun adalah merupakan jumlah dari nilai indeks panas ( i ) bulanan yang dihitung dengan menggunakan rumus  $i = (T/5)^{1,514}$ . Dalam hal ini T adalah rata-rata temperatur bulanan yang diperoleh berdasarkan data stasiun klimatologi terdekat. Perhitungannya sebagai berikut :

Berdasarkan data dari stasiun klimatologi Karangploso, rata-rata temperatur bulanan bulan Januari = 27,6°C.

$$\text{Contoh perhitungan : } i = (27,6/5)^{1,514} = 13,282$$

Tabel 3. Rata-rata Temperatur Bulanan

| Bulan     | T (°C) | i (°C)   |
|-----------|--------|----------|
| Januari   | 27.6   | 13.28299 |
| Februari  | 28.5   | 13.94423 |
| Maret     | 27.7   | 13.35592 |
| April     | 28.8   | 14.16706 |
| Mei       | 28     | 13.57553 |
| Juni      | 27.9   | 13.50219 |
| Juli      | 26.7   | 12.63274 |
| Agustus   | 27.7   | 13.35592 |
| September | 29.3   | 14.54109 |
| Oktober   | 30.3   | 15.29902 |
| November  | 29.5   | 14.69163 |
| Desember  | 28.6   | 14.01837 |

Sumber : Hasil Perhitungan.

### Evapotranspirasi Potensial Sebelum Terkoreksi

Evapotranspirasi Potensial (Epx) dalam hal ini merupakan nilai evapotranspirasi potensial dalam mm/bln dengan dasar 30 hari dan lama penyinaran matahari selama 12 jam. Nilai Epx dicari berdasarkan tabel dan lampiran

Tabel 4. Evapotranspirasi Potensial Sebelum terkoreksi

| Bulan     | T (°C) | Epx (mm bln) |
|-----------|--------|--------------|
| Januari   | 27.6   | 4.8          |
| Februari  | 28.5   | 5.1          |
| Maret     | 27.7   | 4.8          |
| April     | 28.8   | 5.1          |
| Mei       | 28     | 4.9          |
| Juni      | 27.9   | 4.9          |
| Juli      | 26.7   | 4.6          |
| Agustus   | 27.7   | 4.8          |
| September | 29.3   | 5.2          |
| Oktober   | 30.3   | 5.5          |
| November  | 29.5   | 5.3          |
| Desember  | 28.6   | 5.1          |

Sumber : Hasil Tabel Lampiran 1

### Evapotranspirasi Potensial Setelah Terkoreksi

Evapotranspirasi potensial setelah terkoreksi dihitung dengan menggunakan rumus :  $E_p = f \cdot E_{px}$  Dimana f adalah faktor koreksi yang diperoleh berdasarkan letak lintang lokasi kajian, dalam hal ini letak lintang lokasi kajian adalah 7,75°LS.

Tabel 5. Evapotranspirasi Potensial Setelah terkoreksi

| Bulan     | T (°C) | i (°C)   | Epx (mm bln) | F (%) | Ep (mm bln) |
|-----------|--------|----------|--------------|-------|-------------|
| Januari   | 27.6   | 13.28299 | 4.8          | 32.1  | 154.08      |
| Februari  | 28.5   | 13.94423 | 5.1          | 28.8  | 146.88      |
| Maret     | 27.7   | 13.35592 | 4.8          | 31.2  | 149.76      |
| April     | 28.8   | 14.16706 | 5.1          | 30    | 153         |
| Mei       | 28     | 13.57553 | 4.9          | 30.6  | 149.94      |
| Juni      | 27.9   | 13.50219 | 4.9          | 29.4  | 144.06      |
| Juli      | 26.7   | 12.63274 | 4.6          | 30.3  | 139.38      |
| Agustus   | 27.7   | 13.35592 | 4.8          | 30.6  | 146.88      |
| September | 29.3   | 14.54109 | 5.2          | 30    | 156         |
| Oktober   | 30.3   | 15.29902 | 5.5          | 31.5  | 173.25      |
| November  | 29.5   | 14.69163 | 5.3          | 30.9  | 163.77      |
| Desember  | 28.6   | 14.01837 | 5.1          | 32.4  | 165.24      |

Sumber : Hasil Perhitungan

### P – EP

P – EP adalah selisih antara curah hujan dengan Evapotranspirasi potensial. Perbedaan atau selisih antara curah hujan dan evaporasi potensial ini diperlukan untuk menentukan kelebihan dan kekurangan periode lembab atau basah. Nilai negatif dari P – EP mengidentifikasikan bahwa jumlah curah hujan yang jatuh tidak mampu menambah kebutuhan potensi air dari areal yang tertutup vegetasi.

Contoh perhitungan :

$$(P)354.75 - (EP) 154.08 = 200.67$$

Tabel 6. P-EP

| Bulan     | P (mm/bln) | EP (mm/bln) | P – EP (mm/bln) |
|-----------|------------|-------------|-----------------|
| Januari   | 354.75     | 154.08      | 200.67          |
| Februari  | 212.75     | 146.88      | 65.87           |
| Maret     | 354.25     | 149.76      | 204.49          |
| April     | 74         | 153         | -79             |
| Mei       | 78.75      | 149.94      | -71.19          |
| Juni      | 0.5        | 144.06      | -143.56         |
| Juli      | 2.25       | 139.38      | -137.13         |
| Agustus   | 0          | 146.88      | -146.88         |
| September | 2.75       | 156         | -153.25         |
| Oktober   | 53.5       | 173.25      | -119.75         |
| November  | 136.25     | 163.77      | -27.52          |
| Desember  | 374        | 165.27      | 208.73          |

Sumber : Hasil Perhitungan

### Akumulasi Potensi Kehilangan Air (APWL)

Akumulasi potensi kehilangan air diperlukan untuk mengetahui potensi kehilangan air pada bulan kering. Cara perhitungan APWL dimulai dari nilai P – EP yang mempunyai nilai negatif. Kemudian secara berurutan dijumlahkan dengan nilai P – EP sesudahnya sampai dengan nilai P – EP negatif terakhir. Hal yang harus diingat bahwa penjumlahan nilai APWL ini bersifat kumulatif.

Tabel 7. Akumulasi Potensial Kehilangan Air

| Bulan     | P – EP (mm/bln) | APWL (mm) |
|-----------|-----------------|-----------|
| Januari   | 201             |           |
| Februari  | 66              |           |
| Maret     | 204             |           |
| April     | -79             | -79       |
| Mei       | -71             | -150      |
| Juni      | -144            | -294      |
| Juli      | -137            | -431      |
| Agustus   | -147            | -578      |
| September | -153            | -731      |
| Oktober   | -120            | -851      |
| November  | -28             | -879      |
| Desember  | 209             |           |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 8. Tataguna Lahan

| Macam             | Luas (Ha) | Luas (%) | Tekstur         | Air Tersedia (mm/m) | Zone Perakaran (m) | ST (mm) |
|-------------------|-----------|----------|-----------------|---------------------|--------------------|---------|
| Air Tawar         | 179.790   | 0.9      | -               | 300                 | 0                  | 276     |
| Kebun             | 1482.459  | 7.5      | Lempung         | 300                 | 0.7                | 1583    |
| Padang Rumput     | 48.778    | 0.25     | Lempung         | 300                 | 0.67               | 50.25   |
| Pemukiman         | 3937.346  | 20       | Lempung berliat | 250                 | 0                  | 5000    |
| Sawahlingasi      | 3458.712  | 17.6     | Lempung         | 300                 | 0.5                | 2640    |
| Semak Belukar     | 87.599    | 0.45     | Lempung         | 300                 | 0.17               | 3510    |
| Tanah Ladang      | 9674.616  | 49.24    | Lempung         | 300                 | 0.5                | 7386    |
| Sawah Tadah Hujan | 778.953   | 4        | Lempung         | 300                 | 0.5                | 600     |
| Jumlah            | 19648.253 | 100      |                 |                     |                    | 17694   |

Sumber : Hasil Perhitungan

### Cadangan Lengas Tanah Negatif (ST)

Untuk APWL yang bernilai negatif yaitu dari bulan april sampai dengan bulan November didapat berdasarkan tabel pada lampiran 5.

Tabel 9. Cadangan Lengas Tanah Negatif (ST)

| Bulan     | APWL(mm) | ST(mm) |
|-----------|----------|--------|
| Januari   |          | 224    |
| Februari  |          | 224    |
| Maret     |          | 224    |
| April     | -79      | 44     |
| Mei       | -150     | 22     |
| Juni      | -294     | 5      |
| Juli      | -431     | 1      |
| Agustus   | -578     | 1      |
| September | -731     | 1      |
| Oktober   | -851     | 1      |
| November  | -879     | 1      |
| Desember  |          | 224    |

Sumber : Hasil perhitungan

### Perubahan Lengas Tanah ( $\Delta$ ST)

Nilai perubahan lengas tanah dihitung berdasarkan selisih antara cadangan lengas tanah bulan sebelumnya dengan cadangan lengas tanah bulan ini.

Contoh perhitungan :

$$\Delta ST = 44 - 224 = - 180 \text{ mm/bln}$$

$$22 - 44 = - 22 \text{ mm/bln}$$

Tabel 10. Perubahan Lengan Tanah ( $\Delta ST$ )

| Bulan     | ST (mm) | $\Delta ST$ (mm/bln) |
|-----------|---------|----------------------|
| Januari   | 224     | 0                    |
| Februari  | 224     | 0                    |
| Maret     | 224     | 0                    |
| April     | 44      | -180                 |
| Mei       | 22      | -22                  |
| Juni      | 5       | -17                  |
| Juli      | 1       | -4                   |
| Agustus   | 1       | 0                    |
| September | 1       | 0                    |
| Oktober   | 1       | 0                    |
| November  | 1       | 0                    |
| Desember  | 224     | 223                  |

Sumber : Hasil perhitungan

### Evapotranspirasi Aktual (AE)

Nilai evapotranspirasi aktual diperoleh dari ketentuan :

- Jika  $P > EP$  maka  $AE = EP$
- Jika  $P < EP$  maka  $AE = P + [\text{Perubahan lengan tanah}]$

Contoh perhitungannya seperti pada bulan april :

$$P = 74 \quad EP = 153$$

$$\text{Maka } AE = 74 + 180 = 254 \text{ mm/bln}$$

Tabel 11. Evapotranspirasi Aktual (AE)

| Bulan     | P (mm/bln) | EP (mm/bln) | AE (mm/bln) |
|-----------|------------|-------------|-------------|
| Januari   | 354.75     | 154         | 154         |
| Februari  | 212.75     | 147         | 147         |
| Maret     | 354.25     | 150         | 150         |
| April     | 74         | 153         | 254         |
| Mei       | 78.75      | 150         | 100.75      |
| Juni      | 0.5        | 144         | 17.5        |
| Juli      | 2.25       | 139         | 6.25        |
| Agustus   | 0          | 147         | 0           |
| September | 2.75       | 156         | 2.75        |
| Oktober   | 53.5       | 173         | 53.5        |
| November  | 136.25     | 164         | 136.25      |
| Desember  | 374        | 165         | 165         |

Sumber : Hasil perhitungan

### Defisit (D)

Defisit diperoleh berdasarkan pada selisih antara  $EP - AE$ .

Contoh perhitungan :

Pada bulan april  $EP = 153$   $AE = 254$  Maka  $D = 153 - 254 = -101$  karena negatif maka dianggap 0. Sedangkan pada bulan mei  $EP = 150$   $AE = 100,75$  Maka  $D = 150 - 100,75 = 49,25$  mm/bln

Tabel 12. Defisit

| Bulan     | EP (mm/bln) | AE (mm/bln) | D (mm/bln) |
|-----------|-------------|-------------|------------|
| Januari   | 154         | 154         | 0          |
| Februari  | 147         | 147         | 0          |
| Maret     | 150         | 150         | 0          |
| April     | 153         | 254         | 0          |
| Mei       | 150         | 100.75      | 49.25      |
| Juni      | 144         | 17.5        | 126.5      |
| Juli      | 139         | 6.25        | 132.75     |
| Agustus   | 147         | 0           | 147        |
| September | 156         | 2.75        | 153.25     |
| Oktober   | 173         | 53.5        | 119.5      |
| November  | 164         | 136.32      | 27.68      |
| Desember  | 165         | 165         | 0          |

Sumber : Hasil perhitungan.

### Surplus (S)

Nilai surplus (S) diperoleh berdasarkan rumus  $S = (P - EP) - \text{Perubahan ST } (\Delta ST)$ .

Contoh perhitungan :

$$\text{Pada bulan april } (P - EP) = -79 \quad (\Delta ST) = -179$$

$$\text{Maka } S = -79 - (-179) = 100 \text{ mm/bln.}$$

Tabel 13. Surplus

| Bulan     | P - EP (mm/bln) | $\Delta ST$ (mm/bln) | S (mm/bln) |
|-----------|-----------------|----------------------|------------|
| Januari   | 201             | 0                    | 201        |
| Februari  | 66              | 0                    | 66         |
| Maret     | 204             | 0                    | 204        |
| April     | -79             | -179                 | 100        |
| Mei       | -71             | -22                  | -49        |
| Juni      | -144            | -17                  | -127       |
| Juli      | -137            | -4                   | -133       |
| Agustus   | -147            | 0                    | -147       |
| September | -153            | 0                    | -153       |
| Oktober   | -120            | 0                    | -120       |
| November  | -28             | 0                    | -28        |
| Desember  | 209             | 222                  | -13        |

Sumber : Hasil perhitungan.

### Runoff

Langkah terakhir dari perhitungan neraca air adalah menghitung besar *runoff*. *Runoff* diperoleh dari surplus air yang besarnya diasumsikan 50 % dan sisanya akan keluar menjadi *runoff* pada bulan berikutnya.

Contoh perhitungan :

$$\text{Pada bulan januari } S = 201 : 2 = 101 \text{ mm}$$

Hasil 101 masuk sebagai 50 % surplus bulan januari. Setelah itu  $101 : 2 = 50$  mm. Hasil 50 mm tersebut masuk ke bulan februari, dan seterusnya.

Tabel 14. Runoof

|             | Jan  | Feb | Mar | Apr | Mei | Jun | Jul | Agust | sept | okt | nov | Des |
|-------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|-----|
| Surplus     | 201  | 66  | 204 | 100 | 0   | 0   | 0   | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   |
| 50% Surplus | 101  | 33  | 102 | 50  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   |
|             | 0    | 50  | 17  | 51  | 25  | 0   | 0   | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   |
|             | 0    | 0   | 25  | 8.3 | 26  | 13  | 0   | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   |
|             | 0    | 0   | 0   | 13  | 4.1 | 13  | 6.3 | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   |
|             | 0    | 0   | 0   | 0   | 6.3 | 2.1 | 6.4 | 3.13  | 0    | 0   | 0   | 0   |
|             | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 3.1 | 1   | 3.19  | 1.6  | 0   | 0   | 0   |
|             | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1.6 | 0.52  | 1.6  | 0.8 | 0   | 0   |
|             | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.79  | 0.3  | 0.8 | 0.4 | 0   |
|             | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.4   | 0.1  | 0.4 | 0.2 | 0   |
|             | 0.1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0.2  | 0.1 | 0.2 | 0   |
|             | 0.1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0    | 0   | 0.1 | 0   |
|             | 0.02 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0    | 0   | 0   | 0   |
| Jumlah (mm) | 302  | 149 | 348 | 222 | 61  | 30  | 15  | 7.61  | 3.8  | 1.9 | 1   | 0.5 |

Sumber : Hasil perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan neraca air Defisit air terjadi selama 7 bulan yaitu mulai bulan Mei sampai November dengan total sebesar 755,93 mm. Sedangkan pada bulan Januari sampai April terjadi surplus air sebesar 571 mm. Dari hasil perhitungan total defisit air selama setahun bila dibandingkan dengan total Surplus selama setahun masih terdapat perbedaan yang cukup besar sehingga surplus air dibulan berikutnya sangat sedikit, untuk mengantisipasi agar ketersediaan air DAS seimbang maka perlu penataan kawasan di DAS Lesti dengan memperbesar lahan sebesar 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, dan seterusnya sebagai perencanaan.

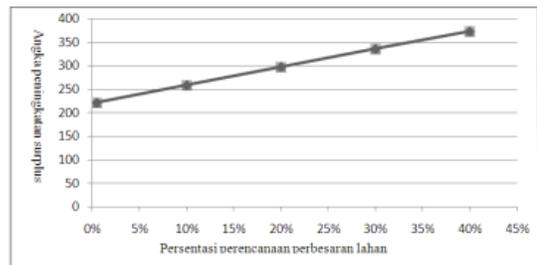
Dari skenario 1, 2, 3 dan 4 terlihat pada bulan April, Mei, Juni, Juli, Agustus, dan September terjadi peningkatan surplus, dan itu sudah dapat mewakili perbesaran lahan dengan demikian dapat disimpulkan apabila lahan semakin belukar atau padang rumput diperbesar dengan memperkecil lahan yang mungkin bisa di kurangi seperti kebun, tanah ladang atau sawah tadah hujan maka surplus air pun akan bertambah sehingga defisit air akan berkurang dan dapat menghindari kekeringan lahan.

Tabel 15. Skenario 1, 2, 3, 4

| Bulan     | Runoff Awal (mm) | Runoff Rencana 10 % | Runoff Rencana 20 % | Runoff Rencana 30 % | Runoff Rencana 40 % |
|-----------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Januari   | 302              | 302                 | 302                 | 302                 | 302                 |
| Februari  | 149              | 149                 | 149                 | 149                 | 149                 |
| Maret     | 348              | 348                 | 348                 | 348                 | 348                 |
| April     | 222              | 259                 | 298                 | 336                 | 373                 |
| Mei       | 61               | 67                  | 74                  | 80                  | 86                  |
| Juni      | 30               | 34                  | 37                  | 40                  | 43                  |
| Juli      | 15               | 17                  | 18                  | 20                  | 21                  |
| Agustus   | 8                | 8                   | 9                   | 10                  | 11                  |
| September | 4                | 8                   | 5                   | 5                   | 5                   |
| Oktober   | 2                | 2                   | 2                   | 2                   | 3                   |
| November  | 1                | 1                   | 1                   | 1                   | 1                   |
| Desember  | 0.4              | 0.5                 | 0.6                 | 0.6                 | 0.7                 |
| Jumlah    | 1142.4           | 1195.5              | 1243.6              | 1293.6              | 1342.7              |

Sumber : Hasil perhitungan

Grafik 2. Hasil Skenario 1, 2, 3, 4



Grafik 4.5 Peningkatan Surplus dibulan April  
Sumber : Hasil perhitungan

## KESIMPULAN

1. Besarnya curah hujan rata-rata di DAS Lesti adalah bulan Januari 355 mm, Februari 213 mm, Maret 354 mm, April 74 mm, Mei 79 mm, Juni 0,5 mm, Juli 2 mm, Agustus 0 mm, September 3 mm, Oktober 53 mm, November 136 mm, Desember 374 mm.
2. Besarnya Evapotranspirasi DAS Lesti tahun 2012 adalah bulan Januari 0,06 mm/hr, Februari 0,03 mm/hr, Maret 0,36 mm/hr, April 1,19 mm/hr, Mei 2,09 mm/hr, Juni 2,52 mm/hr, Juli 2,24 mm/hr, Agustus 1,43 mm/hr, September 0,55 mm/hr, Oktober 0,08 mm/hr, November 0,04 mm/hr, Desember 0,02 mm/hr.
3. Berdasarkan Neraca air Das lesti mengalami defisit air yang terjadi selama 7 bulan yaitu mulai bulan Mei sampai November dengan total sebesar 755,93 mm. Total defisit air selama setahun bila dibandingkan dengan total surplus selama setahun masih terdapat perbedaan yang cukup besar sehingga surplus air dibulan berikutnya sangat sedikit, untuk mengantisipasi agar ketersediaan air

DAS seimbang maka perlu penataan kawasan di DAS Lesti dengan cara memperbesar luasan lahan seperti semak belukar dan padang rumput.

4. Penataan Kawasan DAS Lesti berdasar Neraca Air dilakukan dengan cara sebagai berikut : apabila lahan semak belukar atau padang rumput diperbesar dengan memperkecil lahan yang mungkin bisa di kurangi seperti kebun, tanah ladang atau sawah tadah hujan seperti yang tertera pada skenario 1, 2, 3, dan 4 maka surplus air pun akan bertambah sehingga defisit air akan berkurang dan dapat menghindari kekeringan lahan.

#### **SARAN**

1. Koordinasi yang bisa diberikan dari pemerintah kepada masyarakat tentang kesadaran juga kerjasama untuk pengelolaan lahan yang baik di DAS Lesti.
2. Untuk analisa neraca air pada DAS Lesti ini dapat dilakukan perhitungan kembali dengan metode lain yang lebih matang dan menyempurnakan lagi agar bisa menghasilkan penataan kawasanteknik pengendalian banjir dan kekeringan yang tepat.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Asdak, C. (2004). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (edisi kedua)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Limantar Montarcih lily (2010). *Hidrologi Praktis*. Lubuk Agung, Bandung.
- Soemarto, CD. (1999). *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional. Surabaya.
- Soewarno. (2000). *Hidrologi Operasional (Jilid Kesatu)*. PT. Citra Aditya Bakti. Bandung.
- Sosrodarsono, S. dan K. Takeda. (1999). *Hidrologi Untuk Pengairan*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.

Sri Harto Br. (2000). *Hidrologi (Teori, Masalah, Penyelesaian)*. Nafiri Offset. Paramita. Jakarta.

Suhardjono. (1994). *Kebutuhan Air Tanaman*. ITN Malang Press. Malang.

Sunaryo, dkk. (2005). *Pengelolaan Sumber daya Air*. Bayumedia. Malang.

Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi. Yogyakarta.

[Http://rri.co.id/index.php/berita/46887/Lahan-Kritis-Di-RI-Tiap-Tahun.co.id/7/9/2013/20:30](http://rri.co.id/index.php/berita/46887/Lahan-Kritis-Di-RI-Tiap-Tahun.co.id/7/9/2013/20:30) WIT.

[Www.jasatirta1.go.id](http://www.jasatirta1.go.id), 2004 05/01/2014 22:203 WIT.