

VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN SUHU UDARA SERTA PENGARUHNYA TERHADAP NERACA AIR IRIGASI DI DAERAH ALIRAN SUNGAI CILIWUNG

RAINFALL AND AIR TEMPERATURE VARIABILITY AND ITS EFFECT TO THE IRRIGATION WATER BALANCE IN CILIWUNG WATERSHED

Oleh:

Dwi Ariyani¹⁾

¹⁾ Fakultas Teknik, Universitas Pancasila
Jl. Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia
Komunikasi Penulis, email: ariyani1623@gmail.com

Naskah ini diterima pada 5 Desember 2016; revisi pada 14 Februari 2018;
disetujui untuk dipublikasikan pada 19 Februari 2018

ABSTRACT

Climate change is an issue that is being faced by the global community, which affects the variability of temperature and rainfall. An increase in air temperature may lead to a decrease in the dependable flow or availability of water. Related to this matter, this research aim to identify the trend of air temperature change and rainfall on water availability in Ciliwung Watershed for 30 years (1985 to 2015). Analysis of the increase in trend of climate variables is done by using Mann Kendall Trend Test method, water balance analysis using surplus deficit balance method, and water availability analysis using Mock method. The results showed no change in rainfall variability. The average temperature rose by 0.2°C, the minimum temperature increased by 0.9°C, and the maximum temperature rose by 0.8°C over the last 30 years. Water availability decreased by 2 m³/s or by 2,000 l/s during the last 30 years. Water balance analysis then conducted using the maximum irrigation water demand at the intake of 8.46 l/s/ha and the irrigation area of Katulampa Weir which was reduced from 1,288 ha to 333 ha (1985 to 2015). The results of this analysis indicate that there is no water balance deficit for agricultural land in Ciliwung Watershed. The result of this research is expected to support the management of water resources in the upstream Ciliwung Watershed.

Keywords: *Ciliwung, climate change, irrigation water, Katulampa, Mann Kendall, water availability, Mock, water balance*

ABSTRAK

Perubahan iklim merupakan isu yang sedang dihadapi oleh masyarakat global, yang berpengaruh terhadap variabilitas suhu udara dan curah hujan. Peningkatan suhu udara dapat menyebabkan penurunan debit andalan atau ketersediaan air. Terkait dengan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *trend* dari perubahan suhu udara dan curah hujan terhadap ketersediaan air di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung selama 30 tahun (1985 s.d. 2015). Analisis kenaikan *trend* variabel iklim dilakukan dengan menggunakan metode Mann Kendall Trend Test, analisis neraca air menggunakan metode neraca surplus defisit, dan analisis ketersediaan air menggunakan metode Mock. Dari hasil analisis diketahui bahwa tidak ada perubahan variabilitas curah hujan. Suhu rata-rata naik sebesar 0,2°C, suhu minimum naik sebesar 0,9°C, dan suhu maksimum naik sebesar 0,8°C selama 30 tahun terakhir. Ketersediaan air teridentifikasi menurun sebesar 2 m³/s atau sebesar 2.000 l/s selama 30 tahun terakhir. Analisis neraca air kemudian dilakukan berdasarkan nilai kebutuhan air irigasi di *intake* maksimum sebesar 8,46 l/s/ha dan luas areal irigasi yang diairi oleh Bendung Katulampa yang berkurang mulai tahun 1985 sampai 2015 dari 1.288 ha menjadi 333 ha. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak terjadi defisit neraca air untuk lahan pertanian di DAS Ciliwung. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan untuk pengelolaan sumber daya air di daerah hulu DAS Ciliwung.

Kata kunci: *air irigasi, Ciliwung, debit andalan, Katulampa, Mann Kendall, Mock, neraca air, perubahan iklim*

I. PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung merupakan salah satu pemasok air yang penting bagi Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta. Luas DAS Ciliwung adalah sebesar 347 km² dan panjang sungai utama kurang lebih 117 km dengan hulu di gunung pangrango Jawa Barat. Sungai ini mengalir melalui Puncak, Ciawi, lalu membelok ke utara melalui Bogor, Depok, Jakarta dan bermuara di Teluk Jakarta. Dari Kota Jakarta aliran bercabang dua di daerah Manggarai yaitu melalui tengah kota antara lain sepanjang daerah Gunung Sahari, dan yang lain melalui pinggir kota. Semakin pesatnya laju urbanisasi dan pembangunan di daerah pengaliran sungai Ciliwung menyebabkan berubahnya tata guna lahan, daerah tutupan lahan yang semula merupakan lahan vegetasi berubah fungsi menjadi perumahan, perkantoran, dan daerah komersil lainnya.

Luas lahan Sawah di DAS Ciliwung Hulu pada tahun 1994 s.d. 2010 berkurang sekitar 66% yaitu sebesar 855 ha, dari 1.288 ha menjadi 432 ha. Sedangkan lahan permukiman meningkat sekitar 152% yaitu sebesar 1.190 ha pada tahun 1994 s.d. 2010, dari seluas 781 ha menjadi 1.971 Ha (Agustina, 2013). Dengan demikian, air tidak bisa terinfiltrasi dan menjadi limpasan permukaan yang bisa menyebabkan debit air Sungai Ciliwung menjadi tinggi pada saat musim penghujan dan berakibat meluapnya Sungai Ciliwung.

Apabila Sungai Ciliwung meluap, DKI Jakarta yang merupakan pusat pemerintahan dan perekonomian Indonesia akan terkena dampak secara langsung. Hal tersebut diperparah dengan perilaku masyarakat disekitar bantaran Sungai Ciliwung, yang membangun rumah di daerah dataran banjir serta kesadaran terhadap lingkungannya sangat kurang seperti membuang sampah ke sungai.

Pada penelitian sebelumnya ketersediaan air banyak dipengaruhi oleh negara yang beriklim sub-tropis. Pada DAS Tarim, Cina, suhu dan curah hujan meningkat secara signifikan selama 20 tahun terakhir (Chen, Li, Xu, & Hao, 2007). Suhu meningkat 1°C selama 50 tahun terakhir. Curah hujan meningkat di tahun 1980 s.d. 1990 sebanyak 6,8 mm/dasawarsa. Di DAS Murray Darling Australia dilakukan penelitian dalam meningkatkan kesiapan irigasi pertanian untuk iklim kering masa depan karena berkurangnya sumber daya air (Wei, Langford, Willett, Barlow, & Lyle, 2011). Sedangkan di China juga dilakukan studi untuk menjelaskan efek dari perubahan iklim pada daerah kekeringan berdasarkan nilai evapotranspirasi dan indeks kekeringan (Huo, Dai, Feng, Kang, & Huang, 2013). Pada Daerah

Aliran Sungai Colorado dikembangkan sistem model dinamik, untuk mengetahui efek dari perubahan kondisi iklim dan meningkatnya populasi pada sumber daya air yang diproyeksikan dari tahun 1989 sampai dengan 2035 (Dawadi & Ahmad, 2012).

Beberapa penelitian tersebut di atas dilakukan di wilayah sub-tropis yang curah hujannya tidak terlalu ekstrim. Sedangkan Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis, selain iklimnya yang berbeda di daerah tropis juga mempunyai curah hujan yang sangat tinggi pada saat musim penghujan, contohnya pada DAS Citarum terjadi kenaikan temperatur secara gradual mempengaruhi kondisi curah hujan sehingga pada musim basah menjadi lebih basah dan terjadi kekeringan pada musim kemarau (World of Wildlife Foundation, 2007).

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar kenaikan curah hujan dan suhu udara pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung, dan bagaimana pengaruh kenaikan *trendline* curah hujan dan suhu terhadap ketersediaan dan kebutuhan air irigasi khususnya di DAS Ciliwung. Analisis pada penelitian ini difokuskan pada variabel iklim yaitu curah hujan dan suhu udara, karena diasumsikan variabel ini sangat berpengaruh terhadap ketersediaan air.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemanasan Global

Isu pemanasan global merupakan isu yang merubah opini sebagian besar masyarakat. Bertambahnya populasi penduduk di dunia menyebabkan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca. Gas ini bisa timbul secara alami karena lingkungan seperti meletusnya gunung berapi, respirasi atau pembakaran hutan. Selain itu, gas tersebut bisa juga timbul akibat dari aktivitas manusia seperti asap dari pabrik, penggunaan *air conditioner* dan juga pembakaran pada kendaraan bermotor.

Dalam keadaan normal, efek rumah kaca diperlukan namun bisa merugikan apabila jumlahnya di atmosfer terlampaui banyak sehingga dipantulkan kembali ke bumi. Jenis gas rumah yang bisa meningkatkan efek rumah kaca yaitu CO₂, NH₄ dan N₂O, serta beberapa senyawa organik seperti gas metana dan CFC. Adanya efek rumah kaca ini meningkatkan suhu permukaan bumi yang berdampak pada perubahan iklim yang sangat ekstrem di bumi. Hal ini dibuktikan oleh Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) merupakan lembaga yang dibentuk oleh World Meteorological Organization (WMO) pada

tahun 1988 yang meneliti tentang perubahan iklim global.

Pada tahun 2007 IPCC mengkaji perkembangan konsentrasi gas-gas rumah kaca di dalam atmosfer selama 2000 tahun dari tahun ke 0 sampai tahun 2000 (IPCC, 2007). Dari penelitian tersebut, diketahui bahwa terjadi peningkatan gas-gas rumah kaca seperti CO₂, N₂O dan CH₃, secara signifikan pada kisaran tahun 1800 dan terus meningkat sampai tahun 2000.

Hal ini lah yang merupakan faktor penyebab perubahan iklim global. Akibat dari bertambahnya gas rumah kaca di dalam atmosfer yang menyebabkan semakin meningkatnya suhu dari tahun 1860 sampai dengan tahun 2000. Salah satu kebutuhan manusia yang paling terkena dampak dari perubahan iklim tersebut adalah ketersediaan air.

2.2. Perubahan Iklim dan Sumber Daya Air

Sumber daya air dan siklus hidrologi sangat berkaitan erat dengan perubahan iklim. Perubahan parameter iklim seperti hujan dan suhu udara dapat menyebabkan perubahan jumlah dan kualitas sumber daya air. Pada saat yang sama, perubahan sistem sumber daya air akan mempengaruhi sistem setempat yang kemudian akan memperburuk perubahan iklim pada batas tertentu.

Banyak studi terdahulu yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari perubahan iklim terhadap sumber daya air. Penelitian yang dilakukan Liu, Li, Yang, Hu, & Xia (2012) di sungai Kuning China yang menganalisis neraca air yang berhubungan dengan ketersediaan air dan kebutuhan air, yang hasilnya menunjukkan bahwa terjadi penurunan pada ketersediaan air yang disebabkan eksploitasi air tanah.

Dawadi & Ahmad (2012) di Las Vegas Valey juga meneliti kondisi perubahan iklim di Sungai Colorado dan implikasinya terhadap pengelolaan sumber daya air. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa debit di Sungai Colorado berkurang 3% dari rata-rata historisnya. Hal ini diakibatkan karena perubahan curah hujan dan suhu yang mengakibatkan pengurangan debit sungai. Ketersediaan air selain dipengaruhi oleh iklim dan curah hujan juga dipengaruhi oleh tata guna lahan yang mempengaruhi koefisien limpasan permukaan dan infiltrasi. Silberstein *et al.* (2012) melakukan penelitian tentang dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan dan

kebutuhan air di South Westren Australia, yang hasilnya menunjukkan bahwa ketersediaan air dipengaruhi oleh tata guna lahan dan mengalami penurunan air permukaan sebesar 24% dengan penurunan limpasan permukaan sebesar 25% dan air tanahnya berkurang 2%, hal ini disebabkan karena berubahnya nilai evapotranspirasi dan infiltrasi.

2.3. Neraca Air

Dalam siklus hidrologi, hubungan antara aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) pada suatu DAS untuk periode tertentu disebut neraca air (*water balance*). Perhitungan neraca air berfungsi untuk mengetahui apakah debit yang dibutuhkan dapat mencukupi. Neraca air dapat dinyatakan dengan berbagai cara yaitu dengan Indeks Penggunaan Air (IPA) dan neraca surplus – defisit.

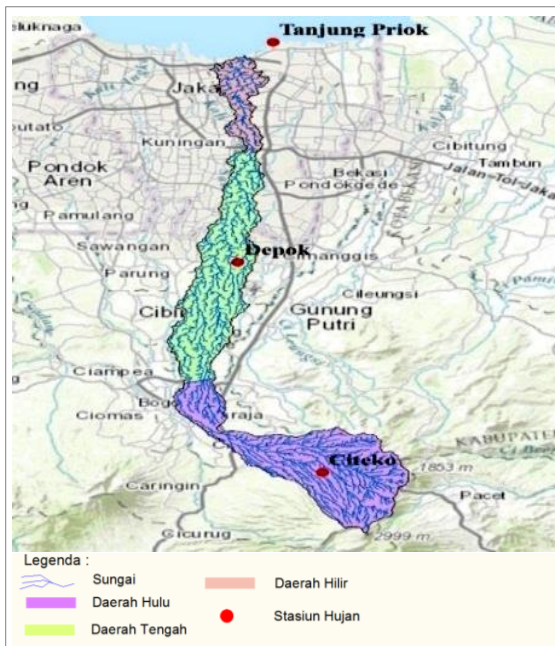
Indeks Penggunaan Air (IPA) merupakan perbandingan Q kebutuhan dan Q ketersediaan (Kementerian Kehutanan, 2014). Seberapa besar jumlah air yang tersedia pada suatu wilayah sungai dibandingkan dengan jumlah penduduk didalam wilayah tersebut, dinyatakan dengan indeks ketersediaan air perkapita. Perhitungan ketersediaan air perkapita dilakukan dengan membagi jumlah air yang tersedia dengan jumlah penduduk yang ada di wilayah sungai. Neraca air surplus defisit dihitung sebagai selisih antara debit ketersediaan air dan kebutuhan air, sehingga bisa diketahui apakah ketersediaan air bisa mencukupi kebutuhan air di suatu wilayah sungai.

Debit kebutuhan air untuk pertanian atau debit irigasi adalah sejumlah air yang umumnya diambil dari sungai atau waduk dan dialirkan melalui sistem jaringan irigasi, guna menjaga keseimbangan jumlah air di sawah. Kebutuhan air di *intake* pengambilan dihitung berdasarkan pola tata tanam (dalam satuan l/s/ha). Data ini dan data luas areal irigasi digunakan untuk menghitung kebutuhan air irigasi dalam satuan l/s (Kementerian PUPR, 2015a).

III. METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di DAS Ciliwung, yang menurut topografinya dibagi menjadi tiga segmen, yaitu hulu, tengah dan hilir. Hulu di daerah Bogor, tengah di daerah Depok, dan hilir di daerah Jakarta. Lokasi stasiun hujan pada DAS Ciliwung dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 1 Stasiun Hujan di DAS Ciliwung

3.2. Data yang Digunakan

1. Peta

Terdiri dari peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), peta tutupan lahan, peta administrasi dan Peta DAS.

2. Areal irigasi

Pada Daerah Irigasi Ciliwung Katulampa luas areal irigasi berkurang dari kurun waktu tahun 1985 sampai dengan 2015. Luas areal irigasi pada tahun 1994 adalah 1.288 ha, tahun 2000 adalah 558 ha, dan tahun 2010 berkurang menjadi 432 ha (Agustina, 2013). Luasan ini menjadi lebih kecil sebagai mana data yang disahkan tahun 2015 pada Kementerian PUPR (2015b) adalah 333 ha.

3. Curah hujan dan suhu udara

Data curah hujan dari 3 stasiun hujan yaitu Stasiun Citeko di Bogor, Stasiun Universitas Indonesia (UI) di Depok, dan Stasiun Tanjung Priok di Jakarta Utara. Data curah hujan yang digunakan selama 30 tahun yaitu dari tahun 1985 sampai dengan 2015. Data curah hujan bulanan dari Badan Metreologi dan Geofisika (BMKG) dan juga bisa didapatkan dari stasiun hujan yang diunduh dari National Climate Data Center (NCDC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)¹.

Data suhu udara diambil dari stasiun Klimatologi Citeko selama 30 tahun berupa suhu udara minimum, rata-rata dan maksimum.

Variabel iklim yang ditinjau dibatasi pada curah hujan dan suhu bulanan saja. Karena dua variabel tersebut merupakan variabel kunci yang banyak digunakan dalam berbagai kajian mengenai perubahan iklim, khususnya di daerah tropis yang hanya terdapat dua musim dalam setiap tahunnya yaitu musim penghujan dan musim kemarau.

3.3. Analisis statistik Perubahan Iklim dengan Metode Mann Kendall Trend Test

Pemanasan global mempengaruhi iklim setempat di daerah aliran Sungai Ciliwung, untuk mengetahui *trendline* perubahan iklim terhadap variabilitas curah hujan dan suhu dapat dikaji dengan melakukan analisis statistik metode Mann Kendall Test.

Mann Kendall Test adalah uji statistik yang banyak digunakan dalam menganalisis *trend* klimatologi, dan dalam menguji *time series* hidrologi (Yue & Wang, 2004). Untuk mengetahui variabilitas curah hujan dan suhu udara menggunakan pengujian hipotesa dengan asumsi awal/*null Hypotesa* (H_0) lebih berat daripada alternatif hipotesa (H_a), sehingga penarikan hipotesa yang benar apabila H_0 ditolak maka bisa jadi alternatif hipotesa (H_a) diterima.

Asumsi yang digunakan adalah H_0 tidak ada *trend* sedangkan H_a ada *trend*, bila H_0 ditolak artinya ada *trend* begitu juga sebaliknya. Berdasarkan uji Mann Kendall Test H_0 diasumsikan bahwa tidak ada *trend*, sedangkan H_a diasumsikan ada *trend* (Karmeshu, 2012).

3.4. Evapotranspirasi

Perhitungan evapotranspirasi dihitung berdasarkan rumus Penmann yang telah dimodifikasi pada daerah-daerah di Indonesia adalah sebagai berikut:

$$ET = ETo^* \cdot c \dots\dots\dots(1)$$

$$ETo^* = W(0,7Rs - Rn_1) + (1-W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed) \dots\dots(2)$$

$$Rs = (0,25 + 0,54 n/N) \cdot Ra \dots\dots\dots(3)$$

$$f(u) = 0,27 (1 + 0,864 u) \dots\dots\dots(4)$$

$$ed = ea \cdot RH \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

- ET = Evapotranspirasi Potensial
- ETo^* = Evaporasi
- c = Angka koreksi penman, yang besarnya mempertimbangkan perbedaan kecepatan angin (u)
- w = Faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi

¹ <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/>

R_s	= Radiasi gelombang pendek, dalam setahun evaporasi ekuivalen (mm/hari)
R_{n1}	= Radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari)
$f(u)$	= Fungsi kecepatan angin pada ketinggian 2,00 m (m/dt)
ea	= Perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap sebenarnya
RH	= Kelembaban relatif bulanan rata-rata (%)
n/N	= Kecerahan matahari (%)
u	= Kecepatan angin bulanan rata-rata (m/s)
LL	= Letak lintang daerah yang ditinjau
Ra	= Radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer/angka angot (mm/hari)

tererosi dan 30-50% untuk lahan pertanian yang diolah

Bentuk umum persamaan neraca air :

$$P = Ea + \Delta GS + TRO \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

P	= Partisipasi / curah hujan
Ea	= Evapotranspirasi
ΔGS	= perubahan tampungan air tanah
TRO	= Total Run Off

Acuan prediksi debit metode Mock:

1. Dalam satu tahun, perubahan tampungan air tanah (ΔGS) harus sama dengan nol.
2. Jumlah total evapotranspirasi dan total koefisien aliran selama satu tahun harus sama dengan total presipitasi yang terjadi dalam tahun itu.

Kelebihan air merupakan air limpasan permukaan ditambah dengan air yang mengalami infiltrasi, yang dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$WS = P - Ea + SMS \dots\dots\dots(8)$$

Tampungan kelembaban tanah (*Soil Moisture Storage/SMS*) dipengaruhi oleh kapasitas kelembaban tanah (*Soil Moisture Capacity/SMC*), zona infiltrasi, dan limpasan permukaan dan tampungan tanah (*Soil Storage/SS*). Besarnya *SMC* tiap daerah tergantung pada tipe penutup lahan dan tipe tanahnya.

Tampungan air tanah dipengaruhi oleh infiltrasi, konstanta resesi aliran dan tampungan air tanah bulan sebelumnya.

Aliran dasar (*BF*) adalah infiltrasi dikurangi dengan perubahan tampungan air tanah dengan rumus

$$BF = I - \Delta GS \dots\dots\dots(9)$$

Aliran langsung/*Direct Run Off* (*DRO*), berasal dari kelebihan air yang telah mengalami infiltrasi, dengan rumus.

$$DRO = WS - I \dots\dots\dots(10)$$

Strom Run Off (*SRO*) adalah limpasan langsung yang terjadi saat hujan deras, *SRO* ini hanya berapa persen dari hujan. *SRO* dipengaruhi oleh prosentase faktor (*PF*), yaitu persen yang menjadi limpasan (nilai *PF* = 5% - 10%).

$$SRO = P \cdot PF \dots\dots\dots(11)$$

Debit andalan total dapat diketahui dari Persamaan 8.

$$Q_{total} = BF + DRO + SRO \dots\dots\dots(12)$$

3.5. Analisis Debit Andalan dengan Metode Mock

Perhitungan debit andalan menggunakan cara analisis neraca air metode Mock. Prinsip dasar dari metode ini didasarkan pada hujan yang jatuh pada daerah tangkapan sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi aliran permukaan dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah sebagai infiltrasi.

Proses infiltrasi pada tahap pertama akan menjenuhkan tanah permukaan dan menjadi perkolasi membentuk air bawah permukaan yang selanjutnya akan keluar di sungai sebagai aliran dasar dengan ini harus ada perimbangan dengan hujan yang jatuh dengan evapotranspirasi, aliran permukaan dan infiltrasi yang selanjutnya berupa kelembaban tanah dan debit air bawah permukaan Aliran dalam sungai adalah jumlah dari aliran langsung permukaan tanah dan aliran dasar (*base flow*).

Data yang digunakan untuk perhitungan debit andalan meliputi:

1. Data Curah Hujan
2. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas dihitung dari selisih evapotranspirasi potensial metode Penman dengan evapotranspirasi yang dipengaruhi oleh tutupan lahan. Dengan rumus sebagai berikut:

$$E = d/h \cdot m \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

d/h	= Rasio hari hujan
Ea	= Presentasi lahan yang tidak tertutup vegetasi, bernilai 10-40% untuk lahan

Asumsi yang diambil untuk perhitungan debit andalan pada penelitian ini adalah nilai m diambil 20% sampai dengan 40%, nilai SMC diambil 200 mm, tampungan awal diasumsikan 100 mm.

3.6. Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air paling dipengaruhi oleh variabilitas iklim (curah hujan dan suhu udara) adalah kebutuhan air irigasi yang dihitung berdasarkan luas areal lahan irigasi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung. Perhitungan kebutuhan air irigasi berdasarkan jenis tanaman, yang dapat di variasikan dengan pola tata tanam, pada penelitian ini, diambil pola tata tanam yaitu Padi-Padi-Palawija. Kemudian sumber air pada suatu lahan pertanian dapat berasal dari air hujan (P) maupun air irigasi (IR), dimana air tersebut kemudian ada yang merembes ke dalam tanah melalui proses perkolasi (DP) dan infiltrasi (I), terpakai untuk pengelolaan tanah (Pd) dan juga untuk evapotranspirasi ET. Yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$IR = ET + Pd + DP + I - R \dots\dots\dots (13)$$

Kebutuhan air dihitung periode 5 tahunan yaitu pada tahun 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, dan 2015. Selain jenis tanaman yang mempengaruhi koefisien tanaman, perhitungan kebutuhan air irigasi juga dipengaruhi oleh evapotranspirasi, dan curah hujan andalan di DAS yang dikaji.

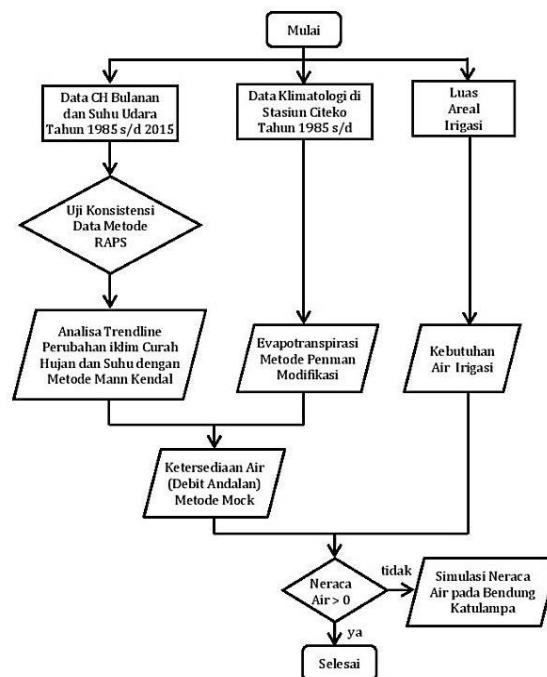
3.7. Pagaruh Ketersediaan Air terhadap Kebutuhan air Irigasi

Dalam siklus hidrologi, hubungan antara aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) pada suatu DAS disebut neraca air. Perhitungan neraca air berfungsi untuk menghitung apakah debit yang dibutuhkan dapat mencukupi untuk ketersediaan air irigasi di DAS Ciliwung. Analisis neraca air dilakukan berdasarkan selisih dari ketersediaan dan kebutuhan air dengan metode neraca surplus defisit. Ketersediaannya berdasarkan dengan debit andalan di DAS Ciliwung, sedangkan kebutuhannya berdasarkan kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi (DI) Ciliwung Katulampa.

3.8. DI Simulasi Neraca Air

Simulasi neraca air dilakukan pada Bendung Katulampa, Kabupaten Bogor. Tujuan dilakukan analisis neraca air ini adalah untuk mengetahui keseimbangan air sebagai penyimpan air yang dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan air irigasi. Perhitungan keseimbangan air pada Bendung Katulampa ini berdasarkan debit andalan Mock sebagai *inflow* dan kebutuhan air irigasi sebagai *outflow* dan pengurangan air akibat penguapan dan rembesan. Dengan demikian

dapat diketahui apakah terjadi limpasan atau tidak pada bendungan Katulampa. Diagram alur metode penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.



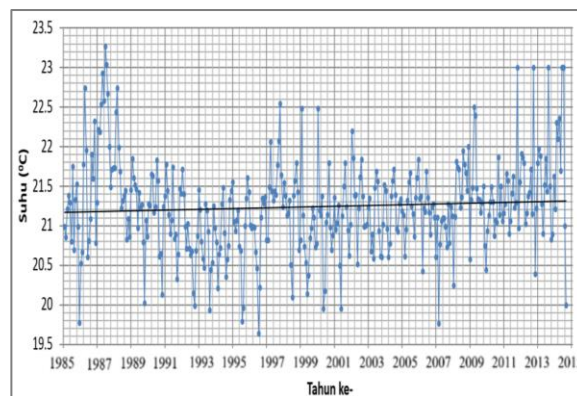
Gambar 2 Bagan Alur Pengerjaan Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kenaikan Suhu Udara Rata-rata, Maksimum, Minimum dan Curah Hujan

Setelah dilakukan analisis data iklim berupa curah hujan dan suhu udara maka dapat diketahui seberapa besar *trendline* kenaikan suhu dan curah hujan di DAS Ciliwung.

Analisis kenaikan suhu udara dengan menggunakan metode Mann Kendall Trend Test, data iklim didapati dari Stasiun Tanjung Priok, selama 30 tahun, dari tahun 1985 sampai dengan 2016. Hasil dari kenaikan suhu udara rata-rata dapat dilihat pada Gambar 3.

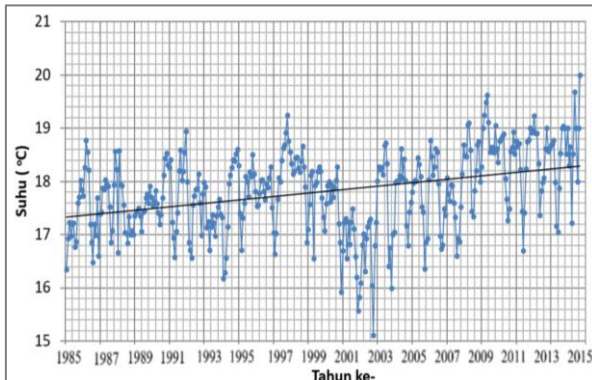


Sumber: Hasil Analisis

Gambar 3 Trendline Kenaikan Suhu Rata-rata

Dari hasil perhitungan nilai *p-value* lebih rendah dari signifikan *level alpha* = 0,1 maka hasil hipotesa *Ho* ditolak, dan hasil hipotesa *Ha* diterima. Resiko apabila *Ho* diterima lebih rendah dari 7,75 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *trend* kenaikan pada suhu rata-rata sebesar 0,2^o C selama 30 tahun.

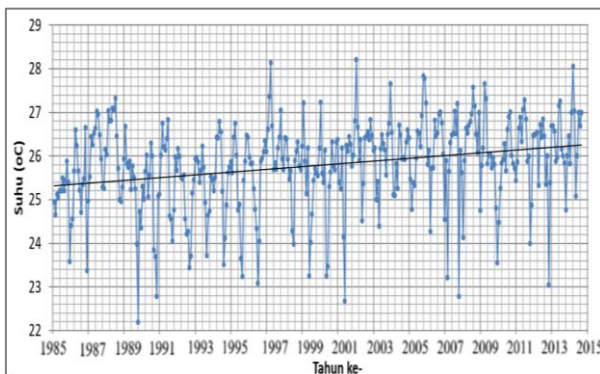
Langan, Johnston, Donaghy, Youngson, Hay, & Soulsby (2001), melakukan penelitian pada sub DAS Girnock Burn di Skotlandia yang hasilnya menyatakan bahwa suhu rata-rata sungai tidak ada perubahan/kenaikan selama 30 tahun. Di DAS Ciliwung kenaikan suhu udara rata-rata sebesar 0,2^oC tidak begitu signifikan karena pada daerah tropis biasanya suhu udara minimum dan maksimum yang naik secara signifikan. Hal ini terjadi karena pada iklim tropis hanya ada dua musim yaitu penghujan dan kemarau. *Trendline* kenaikan suhu udara minimum dan maksimum dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 4 *Trendline* Kenaikan Suhu Minimum

Dari hasil perhitungan nilai *p-value* lebih rendah dari signifikan *level alpha* = 0,1 maka hasil hipotesa *Ho* ditolak, dan hasil hipotesa *Ha* diterima. Resiko apabila *Ho* diterima lebih rendah dari 0,01%, sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *trend* kenaikan pada suhu minimum sebesar 0,9^oC selama 30 tahun.

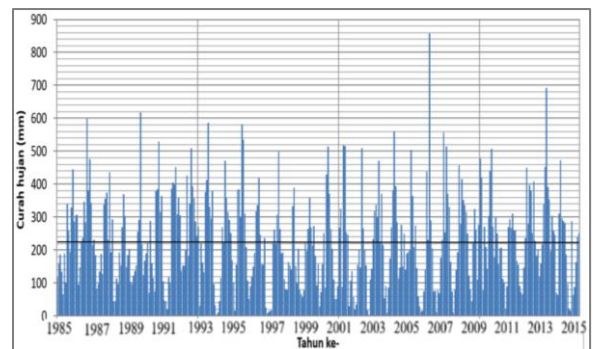


Sumber: Hasil Analisis

Gambar 5 *Trendline* Kenaikan Suhu Maksimum

Dari hasil perhitungan nilai *p-value* lebih rendah dari signifikan *level alpha* = 0,1 maka hasil hipotesa *Ho* ditolak, dan hasil hipotesa *Ha* diterima. Resiko apabila *Ho* diterima lebih rendah dari 0,01 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *trend* kenaikan pada suhu rata-rata sebesar 0,8^oC selama 30 tahun.

Trendline kenaikan curah hujan ditentukan berdasarkan curah hujan wilayah dari tiga stasiun hujan yaitu Stasiun Hujan Citeko di Bogor, UI di Depok dan Tanjung Priok di Jakarta Utara. Metode *Poligon Thiessen* digunakan untuk menghitung curah hujan wilayahnya, kemudian dianalisis *trendline* curah hujan wilayahnya. Hasil analisis curah hujan wilayah dapat dilihat pada Gambar 6.



Sumber: Hasil Analisis

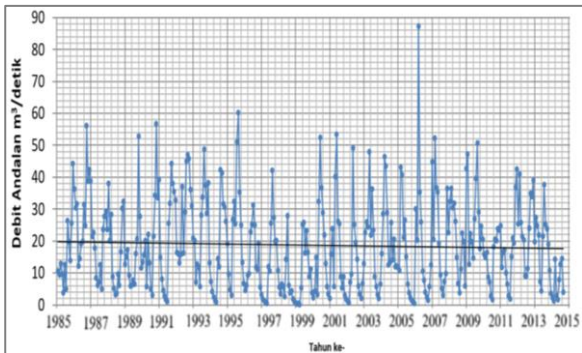
Gambar 6 *Trendline* Kenaikan Curah Hujan

Dari hasil perhitungan nilai *p-value* lebih besar dari signifikan *level alpha* = 0,1 maka hasil hipotesa *Ho* diterima, dan hasil hipotesa *Ha* ditolak. Resiko apabila *Ho* ditolak adalah 82,49%, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada *trend* kenaikan ataupun penurunan curah hujan selama 30 tahun.

Tidak adanya *trendline* dalam curah hujan disebabkan karena curah hujan merupakan data yang fluktuatif, sehingga dapat disimpulkan pada periode tahun tertentu curah hujan wilayahnya adalah sama.

4.2. Ketersediaan Air di DAS Ciliwung

Ketersediaan air/debit andalan di DAS Ciliwung dihitung berdasarkan data curah hujan dari 3 stasiun hujan yaitu di stasiun hujan Citeko, UI dan stasiun Tanjung Priok. Debit andalan dihitung dengan menggunakan Persamaan 8, sehingga didapatkan jumlah ketersediaan air perbulan selama 30 tahun (m³/s). Hasil analisis perhitungan ketersediaan air dengan metode Mock dapat dilihat pada Gambar 7.



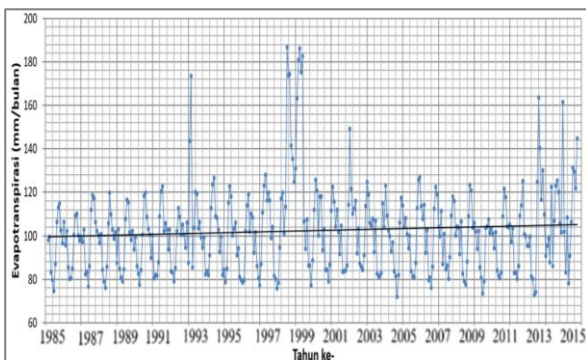
Sumber: Hasil Analisis

Gambar 7 Trendline Ketersediaan Air

Dari hasil perhitungan nilai *p-value* lebih besar dari signifikan *level alpha* = 0,1 maka hasil hipotesa H_0 diterima, dan hasil hipotesa H_a ditolak. Resiko apabila H_0 ditolak adalah 33,31%, kesimpulannya adalah *trend* yang terjadi pada ketersediaan air tidak meningkat tetapi menurun. Penurunan ketersediaan air adalah 2 m³/s atau 2.000 l/s selama 30 tahun terakhir, dari tahun 1985 sampai dengan 2015. Dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa ketersediaan air setiap tahunnya menurun hal ini disebabkan karena ketersediaan air dipengaruhi oleh evapotranspirasi, perhitungan evapotranspirasi berdasarkan suhu udara di daerah studi, apabila suhu udara meningkat maka nilai evapotranspirasinya akan semakin besar dapat dilihat pada Gambar 7.

4.3. Evapotranspirasi

Dari perhitungan evapotranspirasi dengan metode Penman Modifikasi diketahui bahwa, nilai evapotranspirasi meningkat selama 30 tahun terakhir sebesar 6 mm/bulan. Kenaikan evapotranspirasi dapat dilihat pada Gambar 8.



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 8 Trendline Kenaikan Evapotranspirasi

4.4. Analisis Pengaruh Ketersediaan air terhadap Kebutuhan air Irigasi

Analisis kebutuhan dan ketersediaan air diperhitungkan pada saat tahun dasar berdasarkan data yang ada, tahun 1985 sampai

dengan 2015. Luas areal sawah yang digunakan pada tahun 1985 dan 1995 adalah 1.288 ha, tahun 2005 luas areal sawah berkurang menjadi 558 ha dan 2015 luas areal sawah saat ini menjadi 432 ha. Nilai kebutuhan air di *intake* maksimum sebesar 8,46 l/s/ha. Dari nilai kebutuhan air di *intake* dikali dengan luas areal sawah di DI Ciliwung Katulampa didapatkan nilai kebutuhan air irigasi dengan satuan l/s, kemudian neraca air didapatkan dari ketersediaan air (Q_{80}) dikurang dengan kebutuhan air irigasi. Hasil analisis neraca pada tahun 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 dan 2015, dapat dilihat pada Tabel 2, 3, 4, 5, 6, dan 7.

Pada tahun 1990 defisit neraca air terjadi pada bulan Juli dan November. Total ketersediaan air pada bulan Juli adalah 5.719,87 l/s dengan total kebutuhan air sebesar 9.373,17 l/s, defisit neraca air sebesar 3.653,3 l/s. Pada bulan November total ketersediaan airnya sebesar 2.969 l/s, kebutuhan air sebesar 7.178,29 l/s, sehingga defisitnya sebesar 4.208,62 l/s.

Tabel 2 Perhitungan Neraca Air Tahun 1990

No	Bulan	Debit Andalan Q_{80} (l/s)	Total Kebutuhan air irigasi (l/s)	Neraca Air (l/s)	Keterangan
1	Jan	52.775,37	8.968,65	43.806,72	SURPLUS
2	Feb	27.712,49	978,16	26.734,33	SURPLUS
3	Mar	11.614,13	3.618,19	7.995,94	SURPLUS
4	Apr	13.401,50	4.821,29	8.580,22	SURPLUS
5	Mei	15.588,61	7.867,15	7.721,46	SURPLUS
6	Juni	20.140,24	1.808,89	18.331,35	SURPLUS
7	Juli	57.19,87	9.373,17	-3.653,30	DEFISIT
8	Agus	22.144,43	4.201,98	17.942,45	SURPLUS
9	sept	13.216,72	0,00	13.216,72	SURPLUS
10	Okt	4.973,33	0,00	4.973,33	SURPLUS
11	Nop	2.969,66	7.178,29	-4.208,62	DEFISIT
12	Des	21.539,12	21.423,82	115,29	SURPLUS

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 3 Perhitungan Neraca Air Tahun 1995

No	Bulan	Debit Andalan Q_{80} (l/s)	Total Kebutuhan air irigasi (l/s)	Neraca Air (l/s)	Keterangan
1	Jan	42.340,94	15.317,74	27.023,20	SURPLUS
2	Feb	41.259,04	10.364,28	30.894,76	SURPLUS
3	Maret	31.640,55	11.698,26	19.942,30	SURPLUS
4	April	30.641,30	9.829,52	20.811,78	SURPLUS
5	Mei	26.274,29	7.444,69	18.829,59	SURPLUS
6	Juni	19.238,87	3.609,37	15.629,49	SURPLUS
7	Juli	9.561,43	1.235,00	8.326,42	SURPLUS
8	Agus	4.780,67	0,00	4.780,67	SURPLUS
9	Sept	2.964,02	0,00	2.964,02	SURPLUS
10	Okt	26.684,79	0,00	26.684,79	SURPLUS
11	Nop	32.442,56	9.031,57	23.410,99	SURPLUS
12	Des	25.493,33	16.533,34	8.959,99	SURPLUS

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 4 Perhitungan Neraca Air Tahun 2000

No	Bulan	Debit Andalan Q ₈₀ (l/s)	Total Kebutuhan air irigasi (l/s)	Neraca Air (l/s)	Keterangan
1	Jan	25.248,35	6.641,14	18.607,21	SURPLUS
2	Feb	25.749,63	4.488,93	21.260,70	SURPLUS
3	Maret	16.243,03	5.101,84	11.141,18	SURPLUS
4	April	23.245,62	4.248,28	18.997,34	SURPLUS
5	Mei	16.366,27	3.222,16	13.144,11	SURPLUS
6	Juni	8.844,08	1.561,17	7.282,91	SURPLUS
7	Juli	11.289,43	471,87	10.817,56	SURPLUS
8	Agus	3.773,25	85,00	3.688,25	SURPLUS
9	Sept	2.339,42	0,00	2.339,42	SURPLUS
10	Okt	4.345,16	5.140,60	-795,45	DEFISIT
11	Nop	14.913,46	0,00	14.913,46	SURPLUS
12	Des	3.283,78	7.159,28	-3.875,50	DEFISIT

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 5 Perhitungan Neraca Air Tahun 2005

No	Bulan	Debit Andalan Q ₈₀ (l/s)	Total Kebutuhan air irigasi (l/s)	Neraca Air (l/s)	Keterangan
1	Jan	46.504,61	7.098,13	39.406,48	SURPLUS
2	Feb	43.517,84	3.925,29	39.592,55	SURPLUS
3	Maret	28.931,51	1.421,96	27.509,54	SURPLUS
4	April	12.585,07	1.633,74	10.951,33	SURPLUS
5	Mei	13.316,40	4.576,55	8.739,85	SURPLUS
6	Juni	25.819,04	2.477,52	23.341,52	SURPLUS
7	Juli	14.019,79	3.710,67	10.309,12	SURPLUS
8	Agus	20.538,53	1.570,26	18.968,27	SURPLUS
9	sept	11.965,20	319,02	11.646,18	SURPLUS
10	Okt	12.254,78	931,50	11.323,27	SURPLUS
11	Nop	11.861,23	909,13	10.952,10	SURPLUS
12	Des	10.883,62	8.020,46	2.863,16	SURPLUS

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 6 Perhitungan Neraca Air Tahun 2010

No	Bulan	Debit Andalan Q ₈₀ (l/s)	Total Kebutuhan air irigasi (l/s)	Neraca Air (l/s)	Keterangan
1	Jan	42.712,43	6.070,70	36.641,73	SURPLUS
2	Feb	47.202,33	477,15	46.725,18	SURPLUS
3	Maret	12.662,41	2.620,61	10.041,80	SURPLUS
4	April	22.326,51	2.290,96	20.035,55	SURPLUS
5	Mei	19.825,63	1.787,96	18.037,67	SURPLUS
6	Juni	14.670,17	3.975,57	10.694,60	SURPLUS
7	Juli	27.050,63	5.892,40	21.158,23	SURPLUS
8	Agus	39.694,53	7.363,92	32.330,61	SURPLUS
9	Sept	50.772,68	2.909,82	47.862,86	SURPLUS
10	Okt	29.132,33	1.634,06	27.498,27	SURPLUS
11	Nop	17.560,38	2.886,34	14.674,04	SURPLUS
12	Des	24.595,00	5.604,62	18.990,38	SURPLUS

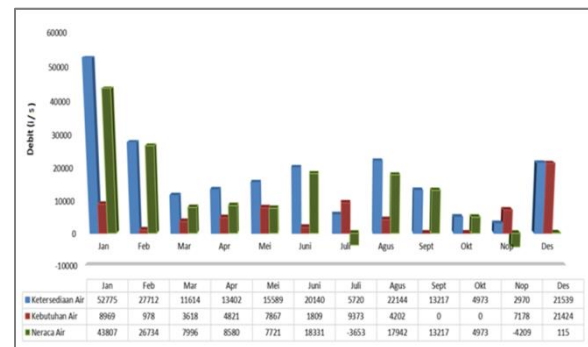
Sumber: Hasil Analisis

Tabel 7 Perhitungan Neraca Air Tahun 2015

No	Bulan	Debit Andalan Q ₈₀ (l/s)	Total Kebutuhan air irigasi (l/s)	Neraca Air (l/s)	Keterangan
1	Jan	18.956,24	181,09	18.775,14	SURPLUS
2	Feb	10.718,36	906,21	9.812,16	SURPLUS
3	Maret	3.693,30	396,06	3.297,23	SURPLUS
4	April	2.289,84	570,17	1.719,67	SURPLUS
5	Mei	1.329,59	0,00	1.329,59	SURPLUS
6	Juni	14.245,73	0,00	14.245,73	SURPLUS
7	Juli	2.923,53	62,06	2.861,48	SURPLUS
8	Agus	1.754,12	0,00	1.754,12	SURPLUS
9	Sept	7.979,26	0,00	7.979,26	SURPLUS
10	Okt	12.749,31	0,00	12.749,31	SURPLUS
11	Nop	14.495,59	456,36	14.039,23	SURPLUS
12	Des	3.948,67	0,00	3.948,67	SURPLUS

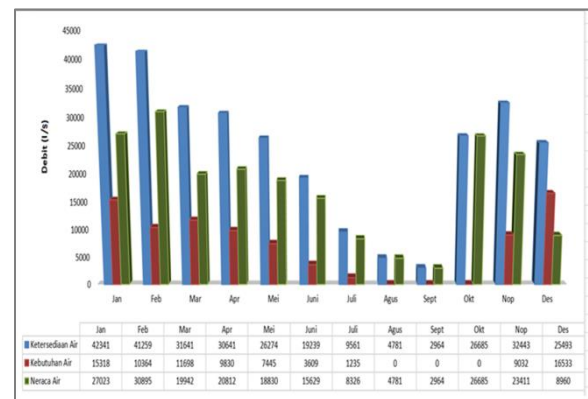
Sumber: Hasil Analisis

Grafik perhitungan neraca air dapat dilihat pada Gambar 9, 10, 11, 12, 13, dan 14



Sumber: Hasil Analisis

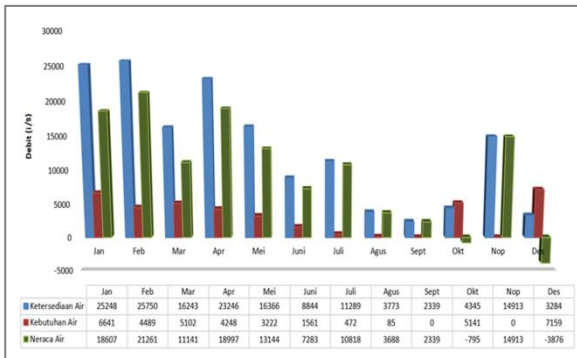
Gambar 9 Grafik Neraca Air Tahun 1990 di DAS Ciliwung



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 10 Grafik Neraca Air Tahun 1995 di DAS Ciliwung

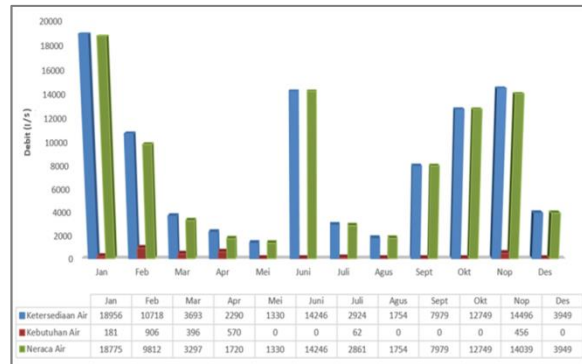
Gambar 10 menunjukkan bahwa tidak ada defisit neraca air pada tahun 1995.



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 11 Grafik Neraca Air Tahun 2000 di DAS Ciliwung

Pada tahun 2000 defisit neraca air terjadi pada bulan Oktober. Total ketersediaan air pada bulan Oktober adalah 4.345,16 l/s dengan total kebutuhan air sebesar 5.140,6 l/s, defisit neraca air sebesar 795,45 l/s.



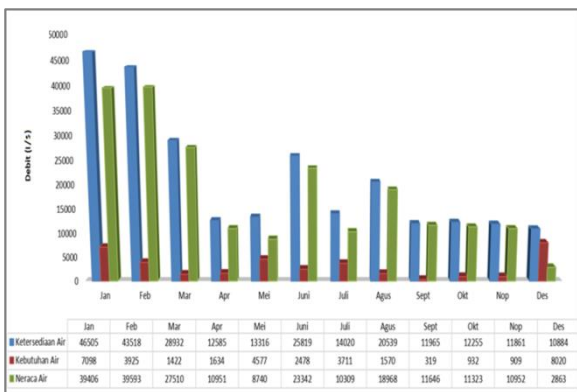
Sumber: Hasil Analisis

Gambar 14 Grafik Neraca Air Tahun 2015 di DAS Ciliwung

Pada tahun 2005, 2010 dan 2015 tidak terjadi defisit neraca air, artinya ketersediaan air mencukupi kebutuhannya, bahkan sampai berlebih (surplus) sehingga dapat menggenangi lahan non-sawah atau permukiman pada daerah yang dilewati oleh Sungai Ciliwung seperti Bogor, Depok, dan Jakarta (Bapenas, 2007). Hal ini disebabkan karena banyak berubahnya lahan sawah menjadi permukiman dari tahun 1994 sampai dengan 2010 lahan sawah berkurang sebesar 855 ha dan lahan permukiman bertambah sebesar 1.190 ha (Agustina, 2013).

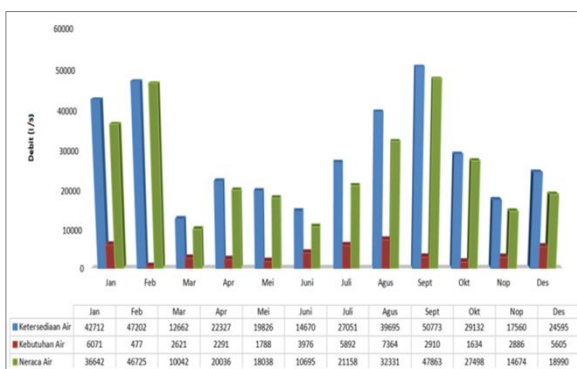
4.5. Simulasi Neraca Air pada Bendung Katulampa

Bendung Katulampa merupakan bendung yang berfungsi sebagai pengendali banjir dan memberikan suplai air pada daerah irigasi di DAS Ciliwung. Dilakukan analisis perhitungan simulasi neraca air pada Bendung Katulampa dengan asumsi tampungan awal adalah 0 m³, ditambah dengan debit andalan sebagai *inflow*, dikurangi dengan kebutuhan air irigasi, penguapan dan rembesan sebagai *outflow*. Hasil dari simulasi neraca air dengan metode surplus-defisit dapat dilihat pada Gambar 15.



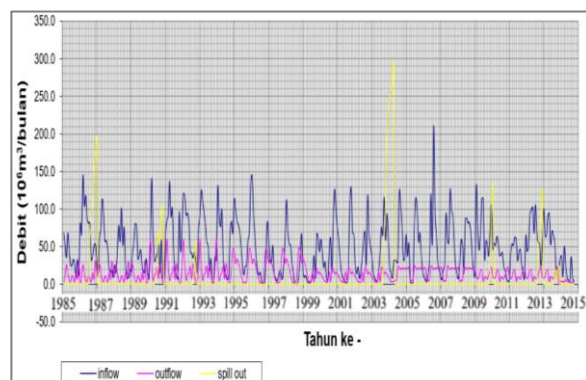
Sumber: Hasil Analisis

Gambar 12 Grafik Neraca Air Tahun 2005 di DAS Ciliwung



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 13 Grafik Neraca Air Tahun 2010 di DAS Ciliwung



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 15 Grafik Simulasi Neraca Air di Bendung Katulampa

Berdasarkan Gambar 15, hasil simulasi neraca air di Bendung Katulampa diketahui bahwa tidak terjadi defisit neraca air dari tahun 1985 sampai dengan tahun 2015. Dengan asumsi volume awal pengisiannya adalah 0, dan volume air di Bendung Katulampa 334 juta m³ (Kunu, 2008).

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *trendline* Test Mann Kendall diketahui bahwa terjadi kenaikan suhu udara rata-rata sebesar 0,2^oC, suhu udara minimum naik sebesar 0,9^oC, suhu udara maksimum sebesar 0,8^oC dan curah hujan naik secara fluktuatif selama 30 tahun terakhir.

Ketersediaan air menurun sebesar 2 m³/s atau 2.000 l/s, penurunan ketersediaan air ini berkaitan erat dengan kenaikan suhu yang meningkatkan penguapan atau evapotranspirasi di DAS. Alokasi ketersediaan air digunakan untuk air irigasi di DI Katulampa dengan kebutuhan air maksimal di *intake* pengambilan sebesar 8,46 l/s/ha. Berdasarkan nilai ketersediaan dan kebutuhan air irigasi selama 10 tahunan dari tahun 1985, yang dapat disimpulkan bahwa, pada tahun 1985 terjadi defisit pada bulan Juni dan Agustus, tahun 1995 terjadi defisit pada bulan Juli dan November, sedangkan tahun 2005 dan 2015 tidak terjadi defisit neraca air, hal ini disebabkan karena luas areal sawah berkurang dari tahun 1.994 sebesar 1.288 ha, menjadi 333 ha pada tahun 2015.

Penelitian lanjutan masih perlu dilakukan untuk menyempurnakan hasil analisis tersebut. Analisis lebih detail perlu dilakukan menggunakan data penunjang yang lebih panjang (minimal 60 tahun). Analisis neraca air dapat dikembangkan bukan hanya untuk kebutuhan air irigasi namun juga kebutuhan lainnya, seperti air baku. Selain itu, perubahan debit ketersediaan air perlu juga dianalisis lebih lanjut berdasarkan perubahan tata guna lahan di DAS Ciliwung sehingga signifikansi faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan air dapat diketahui secara lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas dukungan biaya penelitian dalam rangkaian penelitian "Variabilitas Curah Hujan dan Suhu Udara serta Pengaruhnya Terhadap Neraca Air Irigasi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung". Terima kasih juga kepada Ahmad Hasnan ST, MT atas dukungan dan bimbingannya, serta kepada Jurusan Teknik Sipil Universitas Pancasila untuk tempat dan fasilitas yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. (2013). *Analisis Perubahan Penutupan Lahan Daerah Aliran Sungai Ciliwung Hulu dalam Kaitannya dengan Banjir Jakarta* (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor. Diperoleh dari <http://repository.ipb.ac.id/xmlui/handle/123456789/67814>
- Chen, Y., Li, W., Xu, C., & Hao, X. (2007). Effects of climate change on water resources in Tarim River Basin, Northwest China. *Journal of Environmental Sciences*, 19(4), 488–493.
- Dawadi, S., & Ahmad, S. (2012). Changing climatic conditions in the Colorado River Basin: Implications for water resources management. *Journal of Hydrology*, 430–431, 127–141. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.010>
- Huo, Z., Dai, X., Feng, S., Kang, S., & Huang, G. (2013). Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *Journal of Hydrology*, 492, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.011>
- Karmeshu, N. (2012). *Trend detection in annual temperature & precipitation using the Mann Kendall test—a case study to assess climate change on select states in the northeastern United States* (Tesis). University of Pennsylvania, Pennsylvania, USA. Diperoleh dari http://repository.upenn.edu/cgi/view_content.cgi?article=1045&context=mes_capstones
- Kementerian Kehutanan. (2014). *Peraturan Menteri Kehutanan No. P.61/Menhut-II/2014 tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*.
- Kementerian PUPR. (2015a). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.: 12/PRT/M/2015 tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi*.
- Kementerian PUPR. (2015b). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 14/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Penetapan Status Daerah Irigasi*.
- Kunu, P. J. (2008). The Effect of Land Use Change in Ciliwung Watershed on Runoff. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 4, 84–102.
- Langan, S. J., Johnston, L., Donaghy, M. J., Youngson, A. F., Hay, D. W., & Soulsby, C. (2001). Variation in river water temperatures in an upland stream over a 30-year period. *Science of the Total Environment*, 265(1), 195–207.
- Liu, K. K., Li, C. H., Yang, X. L., Hu, J., & Xia, X. H. (2012). Water Resources Supply-Consumption (Demand) Balance Analyses in the Yellow River Basin in 2009. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1956–1965. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.189>

- Silberstein, R. P., Aryal, S. K., Durrant, J., Pearcey, M., Braccia, M., Charles, S. P., ... Viney, N. R. (2012). Climate change and runoff in south-western Australia. *Journal of Hydrology*, 475, 441–455.
- Wei, Y., Langford, J., Willett, I. R., Barlow, S., & Lyle, C. (2011). Is irrigated agriculture in the Murray Darling Basin well prepared to deal with reductions in water availability? *Global Environmental Change*, 21(3), 906–916. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.004>
- World of Wildlife Foundation. (2007). *Dampak Perubahan Iklim pada DAS Citarum*. Jakarta: World of Wildlife Foundation. Diperoleh dari http://awsassets.wwf.or.id/downloads/watershed_ina_lores.pdf
- Yue, S., & Wang, C. (2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management*, 18(3), 201–218. <https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60>