DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP KESEIMBANGAN HIDROLOGI DAS BENGAWAN SOLO

Teddy W. Sudinda [1]

ABSTRAK

Indonesia sebagai sebuah negara berkembang, memiliki kerentanan terhadap manajemen sumber daya air yang ada. Air yang memiliki fungsi pokok penunjang kehidupan manusia, saat ini telah mengalami degradasi pada kuantitas dan kualitasnya. Urbanisasi dan industrialisasi yang merupakan wujud nyata perkembangan berbagai bentuk kehidupan manusia, telah memicu adanya fenomena perubahan iklim global, kondisi ini berpotensi meningkatkan bencana alam. Perubahan iklim global yang yang disebabkan oleh pemanasan global dapat menimbulkan berbagai permasalahan bagi lingkungan, diantaranya permasalahan sumber daya air berhubungan dengan kondisi di suatu wilayah yang pada akhirnya mempengaruhi ketersediaan air. Satu strategi untuk mengatasi dampak perubahan iklim global tersebut adalah adaptasi. Mengetahui kondisi suatu limpasan total di masa mendatang merupakan salah satu cara untuk beradaptasi dalam rangka mendukung pembangunan berkelanjutan. Untuk mengetahui dampak perubahan iklim terhadap keseimbangan hidrologi DAS Bengawan Solo, penulis menganalisa iklim di DAS Bengawan Solo berdasarkan 39 stasiun, observasi selama kurun waktu tahun (1916-2001) dan menunjukan kecenderungan adanya penurunan untuk curah hujan (P), debit estimasi (Qest) dan demikian juga untuk debit observasi selama kurun waktu tahun (1971-2001).

Kata kunci: Perubahan iklim, pemanasan global, keseimbangan hidrologi.

ABSTRACT

Indonesia as a developing country, has a vulnerability to water resources management. Water that has a principal function of supporting human life, this time has been degraded in quantity and quality. Urbanization and industrialization which is a realization of the development of various forms of human life, has fuelled the phenomenon of global climate change, this condition has the potential to improve natural disaster. Global climate change caused by global warming may cause problems for the environment, including water resources issues associated with the condition in a region that ultimately affect the availability of water. a strategy to address the impacts of global climate change is adaptation. Knowing the condition of a total runoff in the future is one way to adapt in order to support sustainable development. To determine the impact of climate change on the hydrological balance of the Solo River, the authors analyze the climate in the Bengawan Solo River Basin based on 39 stations during the period of observation over the years (1916-2001) and showed a tendency to decrease in precipitation (P), discharge estimates (Qest) and thus also to discharge during the period of observation (1971-2001)

Keywords: *Climate Change, Global Warming, Hydrological Balance*

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah menjadi isu dunia karena dapat menjadi ancaman serius bagi kelangsungan kehidupan di bumi. Perubahan iklim bukan hanya menjadi masalah Negara-negara maju saja, namun juga menjadi urusan semua negara yang memerlukan kebersamaan dalam menanggulanginya. Berbagai fenomena dan dampak akibat

[1] Dosen Jurusan Teknik Sipil FTSP Universitas Trisakti

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194

perubahan iklim telah terjadi. Pemanasan global (*global warming*) pada dasarnya merupakan fenomena peningkatan *temperature* global dari tahun ke tahun karena adanya efek rumah kaca (*green house effect*). Fenomena ini disebabkan oleh meningkatnya emisi gas seperti CO_2, CH_4, N_20 sehingga energi matahari terperangkap dalam atmosfir bumi. Boer (2007) menggambarkan perubahan suhu udara di Jakarta periode 1880-2000. Rata-rata peningkatan suhu selama 100 tahun adalah 1,4°C di bulan Juli dan 1,04°C di bulan Januari.

Meningkatnya suhu global diperkirakan akan menyebabkan perubahan-perubahan yang lain seperti naiknya permukaan laut sehingga akan menenggelamkan sebagian wilayah pantai, pulau-pulau kecil serta meningkatnya cuaca ekstrim, dan perubahan jumlah dan pola hujan dimana intensitas hujan akan meningkat, periode musim hujan akan menjadi lebih singkat dan periode musim kemarau akan lebih panjang. Peningkatan intensitas hujan akan menyebabkan peningkatan intensitas dan frekuensi banjir, tanah longsor akibat kejenuhan air yang tinggi sehingga akan memicu terjadinya erosi dan sedimentasi baik di sungai maupun di waduk.

Perubahan iklim akhirnya akan memberikan dampak negatif pada sumber daya air dan pada akhirnya akan menyebabkan fluktuasi ketersediaan air, peningkatan kejadian iklim ekstrim yang berimplikasi pada semakin seringnya banjir dan kekeringan dan peningkatan permukaan air laut yang akan menyebabkan bertambahnya wilayah genangan.

Dalam tulisan ini akan diperoleh sampai sejauh mana dampak perubahan iklim mempengaruhi keseimbangan hidrologi (curah hujan, debit) pada DAS Bengawan Solo dengan menggunakan sejumlah stasiun observasi curah hujan (39 stasiun) dan wilayah hujan di Pulau Jawa dalam kurun waktu 85 tahun.

2. DATA DAN METODE ANALISIS

2.1 Ketersedian Data

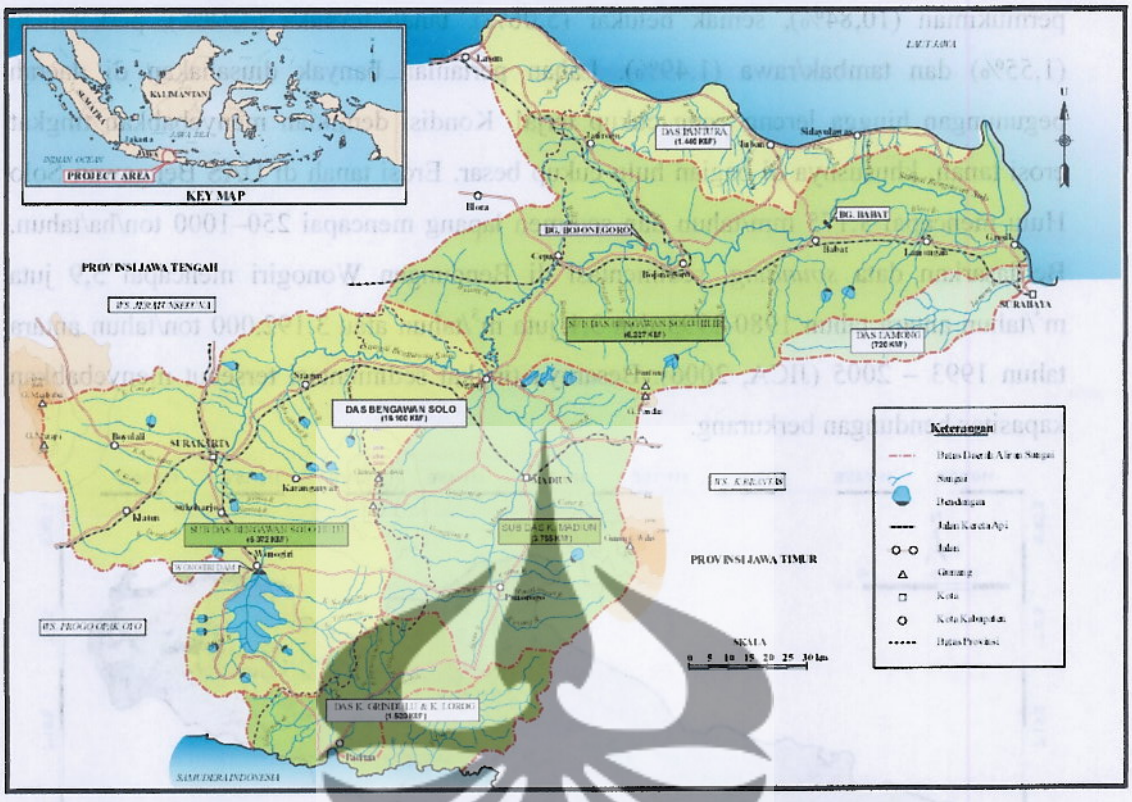
DAS Bengawan Solo

Bengawan Solo merupakan sungai yang terpanjang di Pulau Jawa yaitu sekitar 600 km dengan luas DAS sekitar 16.100 km^2 atau sekitar 12,3% dari luas Pulau Jawa. Sungai ini mengalir melintasi Provinsi Jawa Tengah (8 kabupaten, 1 kota) dan Jawa Timur (9 kabupaten, 2 kota) dengan melalui beberapa rangkaian pegunungan seperti Pegunungan Kapur, Kendeng, Merapi, Merbabu, Lawu dan Wilis. Jumlah penduduk di DAS Bengawan Solo terus bertambah. Pada tahun 1980 sekitar 13,45 juta jiwa, tahun

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194

1990 meningkat menjadi 14,67 juta jiwa, tahun 1998 menjadi 15,37 juta jiwa dan tahun 2005 menjadi 17,5 juta jiwa dengan kepadatan penduduk 1.087 jiwa per km.

Lembah Bengawan Solo Hulu (6.072 km^2) dan Kali Madiun (anak sungai dengan luas DAS 3.755 km^2) merupakan lembah yang sangat luas dan berada di atas dataran alluvial. Bengawan Solo Hilir melintasi bukit-bukit Tertiary dan Kuarter dan rangkaian pegunungan Kendeng. Bukit Tertiary terdiri dari batuan tufa, lanau, lempung dan batu



Gambar 1. Peta batas DAS Bengawan Solo (Sumber: PJT I).

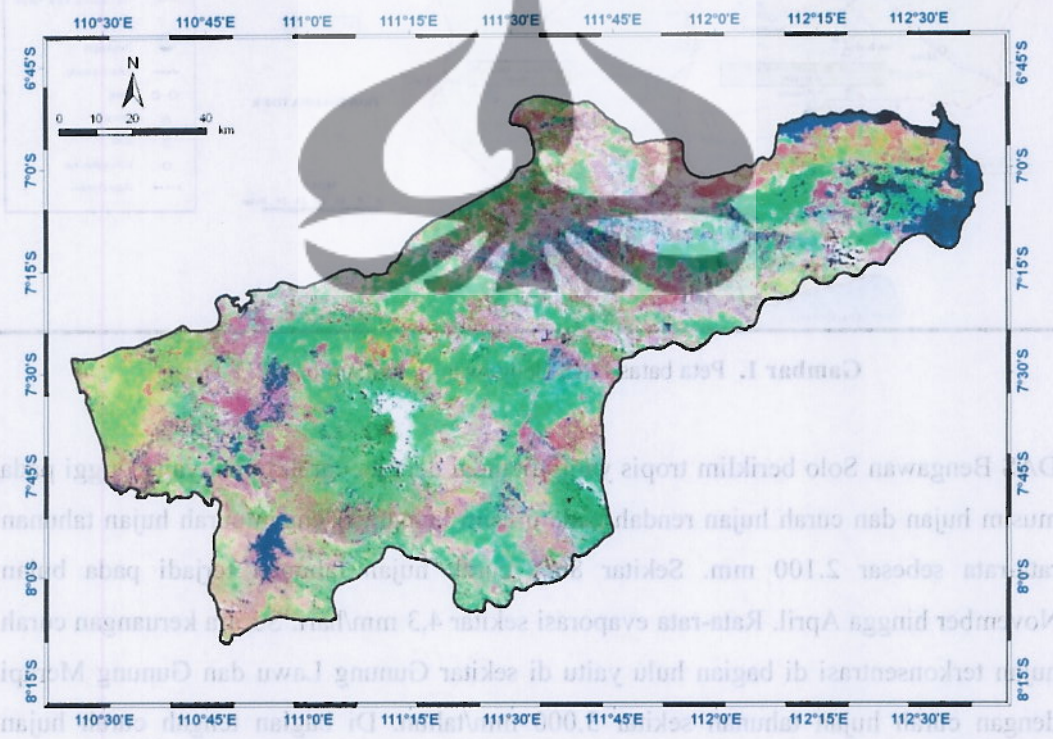
DAS Bengawan Solo beriklim tropis yang ditandai dengan curah hujan yang tinggi pada musim hujan dan curah hujan rendah pada musim kemarau dengan curah hujan tahunan rata-rata sebesar 2.100 mm. Sekitar 80% curah hujan tahunan terjadi pada bulan November hingga April. Rata-rata evaporasi sekitar 4,3 mm/hari. Secara keruangan curah hujan terkonsentrasi di bagian hulu yaitu di sekitar Gunung Lawu dan Gunung Merapi dengan curah hujan tahunan sekitar 3.000 mm/tahun. Di bagian tengah curah hujan tahunan sekitar 2.000 mm/tahun dan di bagian hilir sekitar 1.500 mm/tahun.

Dalam pengelolaan sumber daya air, di DAS Bengawan Solo telah dibangun 7 bendungan dengan kapasitas yang bervariasi. Tujuh bendungan tersebut adalah bendungan Wonogiri (Gajah Mungkur), Parangjoho, Nawangan, Song Putri, Gondang, Pacal dan Prijetan dengan kapasitas total mencapai 828 x 10^6 m^3. Bendungan Wonogiri merupakan

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194

bendungan terbesar di DAS Bengawan Solo dengan kapasitas tampung 730 x 10^6 m^3 yang selesai dibangun pada tahun 1981. Bendungan tersebut berfungsi sebagai suplesi air irigasi untuk 23.200 ha, PLTA 12,4 MW dan pengendali banjir dengan kemampuan mampu mereduksi debit banjir dari 4.000 m^3/detik menjadi 400 m^3/detik.

Berdasarkan analisis citra satelit Landsat tahun 2001, tutupan lahan di DAS Bengawan Solo didominasi oleh pertanian lahan kering (43,78%), sawah (18,97%), hutan (13,57%), permukiman (10,84%), semak belukar (5,06%), tanah terbuka (4,18%), perkebunan (1,55%) dan tambak/rawa (1,49%). Lahan pertanian banyak diusahakan di daerah pegunungan hingga lereng yang cukup terjal. Kondisi demikian menyebabkan tingkat erosi tanah, khususnya di bagian hulu cukup besar. Erosi tanah di DAS Bengawan Solo Hulu mencapai 3.175 mm/tahun dan sedimen lapang mencapai 250–1000 ton/ha/tahun. Berdasarkan data *sounding*, sedimentasi di Bendungan Wonogiri mencapai 5,9 juta m^3/tahun antara tahun 1980-1993 dan 3,1 juta m^3/tahun atau 3.192.000 ton/tahun antara tahun 1993 – 2005 (JICA, 2006). Besarnya tingkat sedimentasi tersebut menyebabkan kapasitas bendungan berkurang.

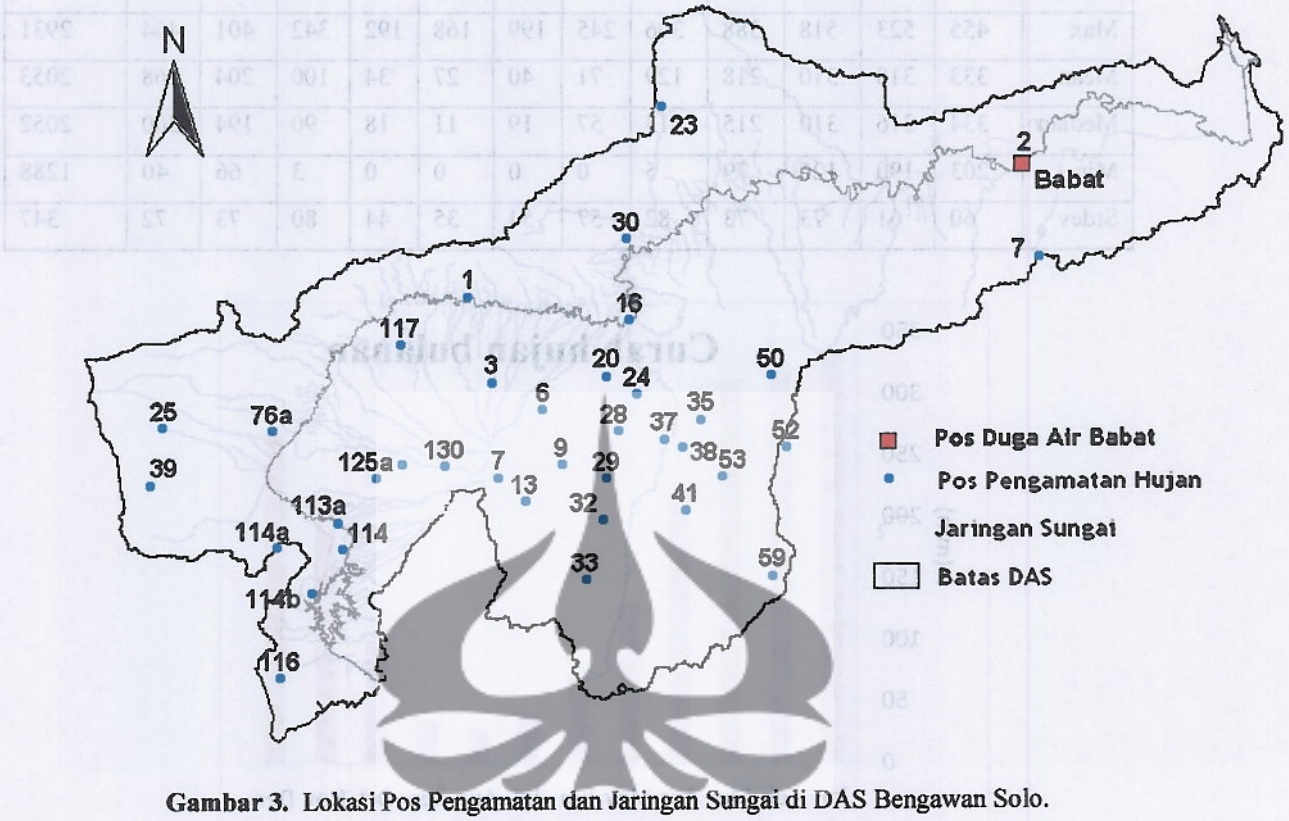


Gambar 2. Kondisi tutupan lahan berdasarkan citra Landsat tahun 2001 di DAS Bengawan Solo.

Untuk menganalisa *tren* perubahan debit telah digunakan data dari 39 stasiun observasi hujan digunakan sebagai pewakil untuk analisa *tren* curah hujan yang meliputi 4 wilayah hujan di Pulau Jawa yaitu wilayah Surakarta, Madiun, Rembang dan Surabaya. Daftar kode stasiun hujan tersebut disajikan dalam Tabel 1. Ketersediaan data hujan yaitu mulai

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194

tahun 1916 hingga 2001 dengan catatan 80% stasiun pewakil memiliki durasi pengamatan lebih dari 60 tahun. Pada era awal kemerdekaan yaitu periode tahun 1946-1949 tidak tersedia data pengamatan hujan di seluruh DAS dan bahkan pada mayoritas stasiun pengamatan hujan di Pulau Jawa. Hal serupa terjadi untuk pengamatan data hujan tahun 1983.



Gambar 3. Lokasi Pos Pengamatan dan Jaringan Sungai di DAS Bengawan Solo.

Tabel 1. Daftar stasiun hujan yang mewakili DAS Bengawan Solo,

Kode Stasiun	Wilayah	Kode stasiun hujan
02-055-23-04	Surakarta	25, 38a, 39, 76a, 113a, 114, 114a, 114b, 117, 125a, 125b, 130, 116
	Madiun	1, 3, 6, 7, 9, 13,16, 20, 24, 28, 29, 32, 33, 36, 37, 38, 41, 50, 52, 53,59
	Rembang	23, 30
	Surabaya	2, 7

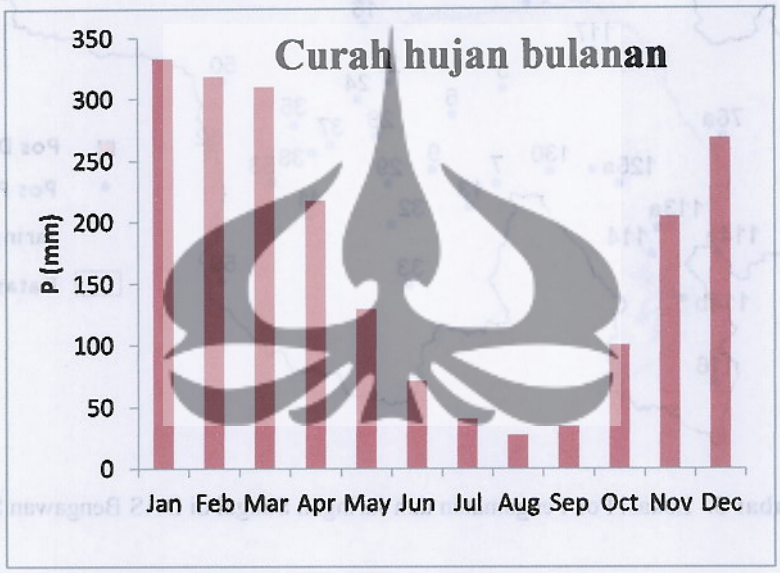
Daerah kajian merupakan wialyah dengan pengaruh *monsoon* yang dominan dengan perbedaan musim hujan dan kemarau yang jelas. Curah hujan rerata DAS kurang dari 100 mm/bulan terjadi pada bulan Juni-Agustus (Gambar 1). Dalam kurun waktu 81 tahun, rerata Curah hujan DAS Bengawan Solo yaitu 2053mm dengan curah hujan tahunan

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194

maksimum sebesar 2931mm pada tahun 1975 dan curah hujan tahunan minimum sebesar 1288 mm pada tahun *el-nino* 1997. Selaras dengan curah hujan rerata maksimum, debit tahunan tertinggi sebesar 657,6 m^3/s pada tahun 1975 dan terendah pada tahun 1997 sebesar 283,7 m^3/s.

Tabel 2. Deskripsi statistik Curah hujan (mm) untuk DAS Bengawan Solo 1916-2001,

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Tahunan
Max	455	523	518	388	306	245	199	168	192	342	401	464	2931
Mean	333	318	310	218	129	71	40	27	34	100	204	268	2053
Median	334	316	310	215	113	57	19	11	18	90	194	260	2052
Min	203	190	126	79	5	0	0	0	0	3	66	40	1288
Stdev	60	61	73	73	82	57	54	35	44	80	73	72	347



Gambar 4. Rerata curah hujan bulanan DAS Bengawan Solo.

2.2 Metode Analisis

Analisis data dilakukan untuk memperoleh keseimbangan hidrologi jangka panjang di DAS Bengawan Solo. Tahapan analisis meliputi;

- Kalkulasi curah hujan rerata DAS (P) dari 39 stasiun pewakil dari tahun 1916-2001
- Membangun korelasi antara curah hujan rerata DAS dengan debit pengukuran (Q) pada stasiun Babat.

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194

Untuk memperoleh hubungan P dan Q dibuat grafik korelasi bulanan dengan P sebagai sumbu X dan Q sebagai sumbu Y. Dari tahapan ini diperoleh persamaan regresi yang akan digunakan untuk tahap berikutnya.

- Pendugaan debit (Qest) dari persamaan regresi yang diperoleh pada tahap sebelumnya.
- Analisis *tren* P dan *Qest* jangka panjang.
- Menghitung keseimbangan hidrologi DAS sebagai selisih antara P dan *Qest*.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai gambaran awal analisis *tren* debit pengamatan bulanan, Tabel 3 menyajikan deskripsi statistik debit bulanan untuk pos Babat. Dari nilai rerata debit tahunan, koefisien limpasan yaitu sebesar 39% dengan kisaran 30–56%.

Tabel 3. Deskripsi statistik Debit sungai bulanan (m^3/s) untuk DAS Bengawan Solo,

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
Max	1305.84	1687.24	1493.74	1354.00	883.68	625.17	557.65	206.00	246.23	616.00	743.00	946.00
Mean	795.55	954.54	893.64	667.91	326.20	189.72	92.97	47.57	62.49	107.73	328.27	502.70
Q80%	648.96	780.94	722.46	486.92	178.58	65.50	34.87	20.10	12.43	29.58	150.03	288.92
Q90%	567.88	740.17	584.00	334.21	123.22	48.02	22.98	14.46	8.84	12.87	52.24	246.07
Min	309.26	446.00	389.77	200.07	104.94	18.07	7.58	3.65	2.00	3.67	18.74	47.55
Stdev	212.54	236.99	256.50	253.32	227.92	141.58	109.25	39.62	73.32	122.96	217.34	210.70

3.1 Analisis *Tren* Curah Hujan dan Debit

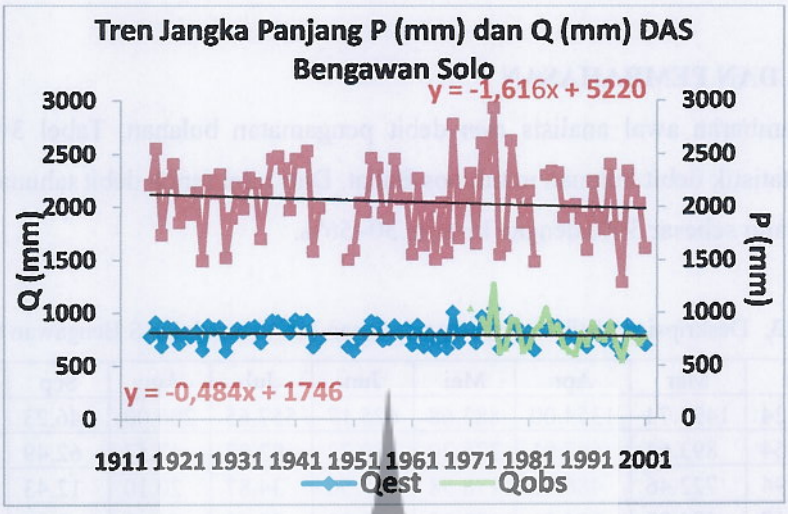
Berdasarkan data curah hujan dan debit dicari persamaan regresi untuk setiap bulan sehingga diperoleh persamaan yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Regresi linier antara curah hujan bulanan (P) dan debit sungai DAS Bengawan Solo,

BULAN	PERSAMAAN REGRESI	R^2	n obs
Jan	Q = 1,433*P + 299,6	0,144	30
Feb	Q = 1,134*P + 570,4	0,105	30
Mar	Q = 2,042*P + 270,7	0,483	30
Apr	Q = 2,855*P + 61,16	0,687	30
Mei	Q = 2,283*P + 60,09	0,712	30
Jun	Q = 1,536*P + 75,87	0,435	30
Jul	Q = 1,559*P + 37,26	0,415	30
Agus	Q = 0,602*P + 30,86	0,256	30
Sep	Q = 1,143*P + 11,15	0,771	30
Okt	Q = 0,678*P + 19,96	0,418	30
Nop	Q = 2,153*P - 109,5	0,528	30
Des	Q = 1,144*P + 216,1	0,157	30

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194

Curah hujan dari tahun 1916 sampai sudah tahun 2001 digambarkan pada kurva yang berwarna merah di bawah ini, di mana dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa *tren* curah hujan cenderung menurun dan demikian juga dengan debit, yang ditunjukan dengan nilai *gradien negative*. Penentuan debit ditentukan berdasarkan estimasi dan observasi. Hubungan antara curah hujan, debit estimasi dan observasi, dan waktu pengamatan dapat dilihat pada gambar berikut:

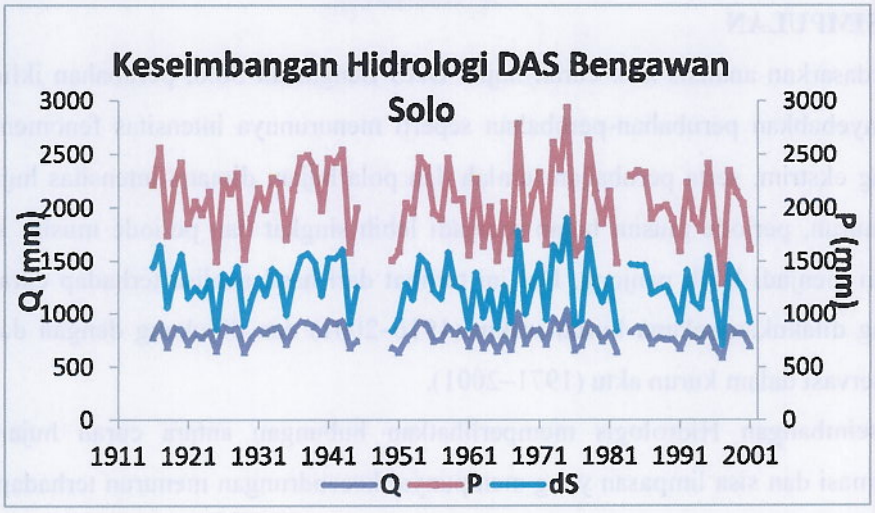


Gambar 5. Analisis tren debit dan curah hujan jangka panjang untuk DAS Bengawan Solo 1916–2001.

3.2 Keseimbangan Hidrologi Jangka Panjang

Untuk mengetahui keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo dapat dilihat pada Gambar 5, dimana kurva yang berwarna merah menggambarkan hubungan antara curah hujan dan waktu pengamatan, dan warna biru menggambarkan hubungan antara debit estimasi dan waktu, warna abu-abu menggambarkan hubungan antara sisa limpasan dan waktu.

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194



Gambar 6. Analisis Keseimbangan debit dan curah hujan jangka panjang untuk DAS Bengawan Solo 1916–2001.

Deskripsi statistik tahunan neraca air DAS Bengawan Solo dapat dlihat pada Tabel 5. di bawah ini, dimana dari perhitungan secara statistik diperoleh Curah Hujan Observasi (Pobs), Debit Estimasi (Qest) dan Sisa Limpasan (dS) untuk kondisi rata-rata, max dan min. Adapun sisa limpasan merupakan bagian dari evapotranspirasi, evaporasi dan infiltrasi dalam suatu sistem Hidrologi.

Tabel 5. Deskripsi stastistik tahunan (mm) neraca air DAS Bengawan Solo 1916-2001,

Parameter	Pobs	Qest	dS
Mean	2053	797	1256
Max	2931	1035	1896
Min	1288	592	697
Stdev	347	96	256
n. obs	81	-	-

Pobs: curah hujan pengamatan, Qest: debit estimasi, dS: sisa limpasan.

3.3. Implikasi Perubahan Debit dan Curah Hujan

Berdasarkan data iklim yang diperoleh selama kurun waktu (1916–2001) diperoleh *tren* penurunan untuk curah hujan yang berimplikasi terjadinya *tren* penurunan debit. Demikian juga berdasarkan observasi debit di lokasi DAS Bengawan Solo selama kurun wakru (1971–2001) menunjukan *tren* penurunan. Hal ini akan mengakibatkan dampak terhadap potensi sumber daya air khususnya pada wilayah kajian akan menimbulkan ketersedian air berkurang dimasa yang akan datang apabila tidak dilakukan mitigasi.

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194

4 KESIMPULAN

1. Berdasarkan analisis *tren* curah hujan DAS Bengawan Solo, perubahan iklim dapat menyebabkan perubahan-perubahan seperti menurunnya intensitas fenomena cuaca yang ekstrim, serta perubahan jumlah dan pola hujan, dimana intensitas hujan akan menurun, periode musim hujan menjadi lebih singkat dan periode musim kemarau akan menjadi lebih panjang. Hal ini terlihat dari hasil analisa terhadap curah hujan yang dilakukan selama kurun waktu (1916–2001) dan didukung dengan data debit observasi dalam kurun aktu (1971–2001).
2. Keseimbangan Hidrologis memperlihatkan hubungan antara curah hujan, debit estimasi dan sisa limpasan yang mempunyai kecendrungan menurun terhadap waktu, dan mempunyai nilai debit sisa limpasan lebih besar dari debit estimasi.
3. Perubahan Iklim akan mengakibatkan implikasi menurunnya curah hujan dan pada akhirnya akan berakibat berkurangnya sumber daya air dimasa mendatang sehingga diperlukan langkah-langkah adaptasi dan mitigasi yang melibatkan seluruh pemilik kepentingan dalam pengelolaan sumber daya air.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2007. Buku publikasi debit aliran sungai di Indonesia, Puslitbang Sumber Daya Air, Badan Litbang Pekerjaan Umum
2. Anonim, 2005. Penelitian dan Pemetaan Banjir, Kekeringan, dan Potensi Sumber Daya Air di Pulau Jawa, Puslitbang Sumber Daya Air, Badan Litbang Pekerjaan Umum, Bandung
3. Pemanasan Global, Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas "http://id.wikipedia.org/wiki/Pemanasan Global "
4. Nugroho, S.P. 2006. Karakteristik Hidrologi pulau Jawa, Jurnal Alami Ptlwb BPPT, Jakarta

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keseimbangan Hidrologi DAS Bengawan Solo
Teddy W. Sudinda
Artikel ini di-digitalisasi oleh Perpustakaan-Universitas Trisakti, 2014, telp. 5663232 ext. 8112, 8113, 8114, 8151, 8194