

PENGARUH PERUBAHAN IKLIM TERHADAP KETERSEDIAAN AIR BAKU DI MALANG RAYA

Alwafi Pujiraharjo¹, Arief Rachmansyah¹, Indradi Wijatmiko¹, M. Ruslin Anwar¹

¹Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik

Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur

ABSTRAK

Air merupakan kebutuhan yang penting dalam kehidupan manusia dimana merupakan sumber daya alam yang harus dijaga ketersediaannya. Perubahan dan penggunaan lahan serta perubahan cuaca dapat menimbulkan perubahan pada kondisi sumber air. Perubahan tersebut dapat mempengaruhi ketersediaan air. Kondisi saat ini di Malang Raya, yang meliputi Kota Batu, Kota Malang dan Kabupaten Malang, terdapat beberapa mata air dan sumur yang mengalami penurunan kuantitas. Apabila tidak dilakukan usaha perlindungan dan perbaikan mata air, maka dapat menimbulkan kondisi dimana tidak ada sumber air yang dapat diambil lagi. Untuk lebih memahami masalah kesediaan air di Malang Raya, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kondisi kesediaan air di Malang Raya. Penelitian akan dilakukan dengan mengumpulkan data-data dan informasi yang dapat digunakan dalam analisis ketersediaan air. Data yang diperoleh dapat berupa data primer dan sekunder, seperti data curah hujan, suhu, topografi, kondisi geologi dan geohidrologi serta kondisi pelayanan air di Malang Raya. Data-data tersebut kemudian juga akan dianalisis melalui perhitungan banjir rencana untuk mengetahui resiko banjir serta melalui perhitungan debit andalan untuk mengetahui resiko kekeringan dengan melihat adanya pengaruh perubahan iklim yang ditandai oleh perubahan suhu.

Kata kunci: Malang Raya, ketersediaan air, perubahan iklim, debit andalan

1. PENDAHULUAN

Kerentanan ketersediaan dan kualitas air bersih saat ini sudah menjadi salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh PDAM dan beberapa pemerintah daerah di Indonesia. Penyebab utama permasalahan ini adalah adanya perubahan yang sangat cepat pada tata guna lahan yang berakibat pada penurunan infiltrasi dan peningkatan *run off*. Kondisi ini diperparah dengan adanya perubahan iklim yang diperkirakan dapat mengubah durasi dan intensitas pola curah hujan. Berkurangnya debit ini berpotensi terhadap sulitnya pemenuhan kebutuhan air bersih ataupun air minum untuk dikonsumsi masyarakat di beberapa wilayah tersebut. Bila tidak ada usaha perlindungan dan perbaikan sumber air, penurunan debit ini diyakini akan terus berlangsung hingga tiba pada kondisi kritis, dimana tidak ada sumber air yang dapat diambil lagi.

Untuk mengetahui kuantitas air baku di Malang Raya diperlukan adanya pengenalan terhadap kondisi geologi dan hidrogeologi, khususnya pada *catchment area* dari sumber air di beberapa wilayah tersebut. Penelitian ini dilaksanakan dengan cara mengumpulkan informasi yang memadai pada kondisi sumber air yang ada sekarang dan infrastruktur untuk penyediaan air bersih / air minum oleh PDAM. Informasi tersebut diperoleh dari berbagai sumber, baik yang berupa data sekunder, meliputi: *literature review*, data dari PDAM serta sumber lain (BPDAS, BMKG, dll), maupun data primer yang berupa investigasi lapangan dengan wawancara, foto dan video.

Pengumpulan data primer juga meliputi pengukuran ataupun perhitungan debit mata air, sumur dalam dan aliran limpasan, serta pencatatan level muka air pada tiap sumber air disertai dengan uji

isotop alam dan uji parameter kualitas air (pH, temperatur, konduktivitas elektrik, dll). Untuk keakuratan analisa, koordinat GPS dicatat pada setiap lokasi dan ditambah dengan informasi mengenai topografi, geologi serta observasi lapangan pada daerah tangkapan sumber air, yang disajikan dalam suatu Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan berbagai layer meliputi peta dasar, topografi, drainase, daerah banjir dan peta tematik lainnya.

Data tersebut diharapkan mampu memberi gambaran lengkap mengenai permasalahan yang telah terjadi dan yang sedang dialami sumber air di wilayah studi, serta dapat digunakan sebagai pijakan dalam merumuskan solusi dalam rangka perlindungan dan perbaikan sumber air masyarakat pada umumnya, serta sumber air dan infrastruktur PDAM pada khususnya, sehingga kelangsungan ketersediaan sumber air dapat tetap terjaga.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Analisis Hidrologi

Analisis data hujan dilaksanakan untuk mendapatkan data – data yang lebih akurat dan jelas mengenai intensitas air hujan, lama durasi, curah hujan netto, probabilitas banjir dan debit banjir rancangan dengan uji – uji statistik.

2.1.1 Analisis Data Hujan

Stasiun pencatat hujan yang mewakili masing-masing daerah aliran sungai (DAS) akan dipilih dan dimasukkan datanya ke dalam sistem *database* serta diolah untuk menghitung curah hujan rancangan dan curah hujan maksimum yang mungkin terjadi (PMP).

Dalam analisis data hujan sering dijumpai adanya data yang tidak sesuai dengan yang diharapkan dan atau tidak lengkapnya data (*data gaps*). Hal ini disebabkan karena berbagai sebab antara lain kerusakan alat, kelalaian petugas, data rusak sehingga tidak dapat terbaca dan data hilang. Bila hilangnya seri data hujan tersebut hanya satu atau dua hari kemungkinan tidak akan berpengaruh pada

analisis. Tetapi sebaliknya bila data yang hilang tersebut panjang maka akan banyak menimbulkan kesulitan dalam analisis.

Cara yang akan dipakai adalah adalah cara Rasional (*Rational Method*), dimana cara ini banyak dipakai dalam praktek. (Sri Harto, 2000)

Rational method mengikuti persamaan :

$$P_i = \frac{1}{n} \left[\frac{N_i \cdot P_A}{N_A} + \frac{N_i \cdot P_B}{N_B} + \dots + \frac{N_i \cdot P_n}{N_n} \right]$$

dengan :

P_i = hujan di stasiun I yang diperkirakan, dalam mm

N_i = hujan tahunan normal di stasiun I, dalam mm

P_A = hujan di stasiun A, dalam mm

N_A = hujan normal di stasiun A, dalam mm

2.1.2 Hujan Rerata Daerah

Dengan melakukan penakaran atau pencatatan hujan, hanyalah didapat curah hujan di suatu titik tertentu (*point rainfall*). Bila dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau alat pencatat curah hujan, maka untuk mendapatkan harga curah hujan daerah (*area rainfall*) adalah dengan mengambil harga rata-ratanya.

Ada tiga cara dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata di suatu areal tertentu dari angka-angka curah hujan di berbagai titik pos pencatat, yaitu:

1. Cara Tinggi Rata-Rata

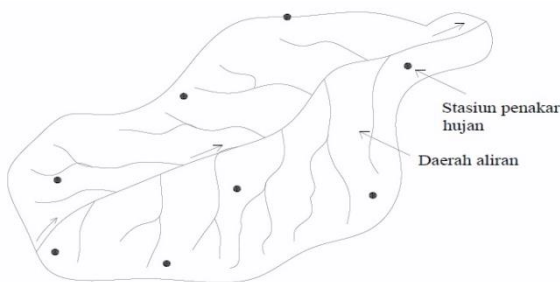
Cara mencari tinggi rata-rata curah hujan di dalam suatu daerah aliran dengan cara *arithmetic mean* adalah salah satu cara yang sederhana sekali. Biasanya cara ini dipakai pada daerah yang datar dan banyak stasiun curah hujannya, dengan anggapan bahwa di daerah tersebut sifat curah hujannya adalah sama rata (*uniform distribution*).

2. Cara Polygon Thiessen

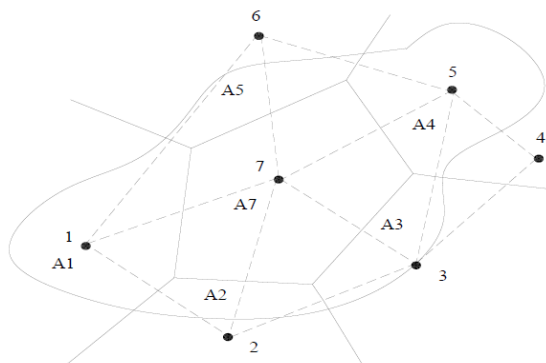
Cara ini diperoleh dengan membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung dua stasiun hujan seperti yang ditunjukkan **Gambar 2**. Curah hujan rata-rata diperoleh dengan cara menjumlahkan pada masing-masing penakar yang mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar.

3. Cara Isohyet

Dalam hal ini kita harus menggambarkan dulu kontur dengan tinggi curah hujan yang sama (*isohyet*). Kemudian luas bagian diantara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur dan harga rata-ratanya dihitung sebagai harga rata-rata berimbang dari nilai kontur.



Gambar 1. DAS dengan perhitungan curah hujan tinggi rata-rata

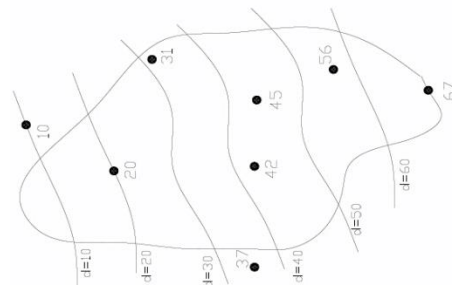


Gambar 2. DAS dengan perhitungan Polygon Thiessen

2.1.3 Curah Hujan Rancangan

Besaran yang digunakan sebagai beban rencana adalah hujan harian

maksimum tahunan, yaitu curah hujan terbesar dalam setahun yang turun dalam kurun waktu 24 jam. Dalam ilmu probabilitas diperkenalkan konsep probabilitas terlampaui yaitu probabilitas kejadian sama atau melampaui suatu nilai yang ditetapkan serta analisis *return period*.



Gambar 3. DAS dengan perhitungan curah hujan Isohyet

2.2 Analisis Tata Guna Lahan

Analisis ini dilakukan dengan cara mengklasifikasi suatu daerah tertentu berdasar atas guna lahan. Tujuan lebih lanjut dalam analisis ini adalah untuk mengetahui kemampuan suatu lahan / area dalam mengalirkan dan meresapkan air hujan dalam kurun waktu tertentu. Untuk memudahkan analisis tata guna lahan dan analisis lainnya, digunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menyimpan, menganalisa dan memanipulasi data informasi – informasi geografi. SIG dirancang untuk mengumpulkan, memanajemen, menganalisa, memanipulasi dan menampilkan data – data yang berupa data spasial dan data non-spasial.

Air hujan yang turun ke permukaan tanah ada yang tertahan di permukaan tanah (*surface detention*) dan mengalir ke sungai sebagai limpasan permukaan (*surface runoff*) dan aliran *interflow*. Sedangkan sebagian air hujan yang turun ke permukaan tanah akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*), ada yang terserap oleh akar tanaman atau yang bergerak terus ke bawah (*perkolasi*) hingga menjadi air tanah.

Kemampuan suatu lahan untuk mengalirkan air hujan menjadi limpasan

permukaan atau meresapkannya menjadi air tanah adalah berbeda berdasar atas tata guna lahan. Tanah yang telah jenuh sempurna (*fully saturated*) akan mengalirkan seluruh air hujan menjadi limpasan permukaan, dan sebaliknya bila tanah tersebut kering maka air hujan akan meresap ke dalam tanah.

2.3 Analisis Limpasan Permukaan dan Banjir Rancangan

2.3.1 Limpasan Permukaan

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, air hujan yang turun ke tanah dapat berubah menjadi limpasan permukaan atau peresapan. Limpasan permukaan bergantung pada intensitas air hujan dan koefisien pengaliran (*C*) dari suatu luasan wilayah. Limpasan permukaan ini dapat dihitung menggunakan metode rasional, yaitu:

$$Q = 0.278 C.I.A$$

Dimana:

- Q = Debit limpasan permukaan
- C = Koefisien pengaliran
- I = Intensitas air hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah pengaliran (km²)

2.3.2 Banjir Rancangan

Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang diperoleh dari data rekaman data baik data hujan maupun data debit. Analisis ini sering dianggap sebagai cara analisis yang paling baik, karena dilakukan terhadap data yang terukur langsung yang tidak melewati pengalihragaman terlebih dahulu.

Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data yang tersedia untuk memperoleh besaran probabilitas hujan atau debit di masa yang akan datang.

Untuk memperkirakan debit banjir yang akan terjadi dapat dilakukan analisis Rainfall (*Runoff Model*) dengan metode Nakayasu. Persamaan umum hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut (Soemarto, 1987) :

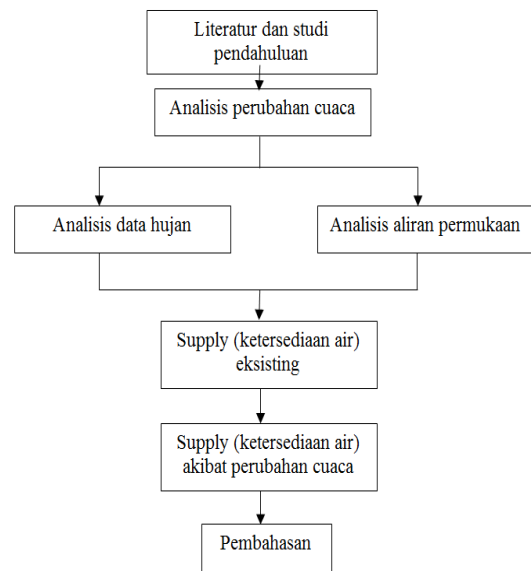
$$Q_p = \frac{C * A * R_0}{3,6 * (0,3 * T_p + T_{0,3})}$$

dengan :

- QP = debit puncak banjir (m³/det)
- R0 = hujan satuan (mm)
- TP = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
- T0,3 = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30 % dari debit puncak.

3. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian ini dilakukan beberapa tahapan seperti dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Bagan alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data Hujan

Analisis data hujan adalah menganalisis data hujan harian untuk memperkirakan besarnya hujan harian maksimum dengan periode ulang tertentu. Data hujan harian maksimum dengan periode ulang tertentu tersebut selanjutnya digunakan untuk memperkirakan besarnya banjir rancangan pada masing-masing DAS yang ditinjau. Besarnya banjir rancangan tersebut dimanfaatkan untuk memperkirakan besarnya debit banjir di sungai. Dengan data debit banjir rencana dan data kapasitas aliran sungai dapat

diperkirakan daerah yang tergenang akibat banjir tersebut.

Tabel 1. Luas daerah aliran sungai di wilayah Malang Raya

No	Nama Daerah aliran sungai (DAS)	Luas (km ²)
1	Konto	33.85
2	Brantas Hulu	18.78
3	Metro	28.24
4	Ampo	17.39
5	Bango-Sari	23.73
6	Amprong	34.54
7	Manten	21.63
8	Lesti Hulu	25.80
9	Lesti Hilir-Jaru	24.21
10	Genteng	13.54
11	Lemon-Putung	6.38
12	Kedung Banteng	6.48
Total		254.59

Sumber: Hasil analisis

4.1.1 Hujan Harian Maksimum

Data hujan yang digunakan adalah data pencatatan tinggi hujan harian selama 10 tahun terakhir dari beberapa stasiun pencatat hujan yang berada di wilayah studi. Untuk Wilayah Malang Raya dipilih data hujan dari 5 stasiun pencatat hujan, yaitu: Stasiun Pencatat Hujan Pujon, Stasiun Pencatat Hujan Pagak, Stasiun Pencatat Hujan Poncokusumo, Stasiun Pencatat Hujan Singosari, dan Stasiun Pencatat Hujan Universitas Brawijaya. Data dari masing-masing stasiun pencatat hujan tersebut selanjutnya dianalisis untuk memperoleh besarnya curah hujan harian maksimum yang mewakili wilayah masing-masing Daerah Aliran Sungai. Untuk memperoleh besarnya curah hujan wilayah

digunakan Metode Polygon Thiessen, dimana lokasi masing-masing stasiun pencatat hujan diplot pada peta berskala kemudian dibuat polygon yang merupakan daerah yang diwakili oleh masing-masing stasiun pencatat hujan. Luas daerah yang mewakili masing-masing stasiun tersebut selanjutnya dibagi dengan luas total daerah aliran sungai. Hasil baginya merupakan koefisien pemberat (koefisien Thiessen) yang mewakili masing-masing stasiun pencatat hujan. Curah hujan wilayah adalah jumlah dari data curah hujan semua stasiun setelah dikalikan dengan koefisien pemberatnya.

4.1.2 Hujan Rancangan

Hujan rancangan adalah besarnya hujan harian maksimum yang diperkirakan hanya terjadi sekali dalam periode waktu tertentu, misalnya 5 tahun atau 10 tahun. Hujan rancangan diperoleh berdasarkan analisis statistik terhadap data hujan harian maksimum yang mewakili wilayah masing-masing daerah aliran sungai. Analisis data hujan biasanya digunakan distribusi probabilitas Gumbell ataupun distribusi probabilitas Log-Pearson Tipe III. Dalam studi ini hanya akan digunakan distribusi probabilitas Log-Pearson Tipe III, karena dari berbagai aplikasi biasanya metode ini memberikan hasil yang baik.

Tabel 2. Data hujan harian maksimum masing-masing stasiun hujan

Tahun	Curah Harian Maksimum (mm)				
	Sta. Pujon	Sta. Pagak	Sta. Poncokusumo	Sta. Singosari	Sta. Univ. Brawijaya
2003	78	115	62	74	88
2004	149	175	86	78	39
2005	69	133	56	74	71
2006	139	69	56	105	104
2007	182	117	151	145	70
2008	145	108	150	141	95
2009	75	77	85	140	73
2010	118	88	94	125	68
2011	72	113	79	93	34
2012	68	115	110	90	57

Tabel 3. Data hujan harian maksimum wilayah Malang

Tahun	Sta. Pagak		Sta. Poncokusumo		Sta. Singosari		Sta. Univ. Brawijaya		Curah Hujan Wilayah (mm)
	CH (mm)	Koef. Thiessen	CH (mm)	Koef. Thiessen	CH (mm)	Koef. Thiessen	CH (mm)	Koef. Thiessen	
2003	115	0.2000	62	0.2500	74	0.3000	88	0.2500	82.7
2004	175	0.2000	86	0.2500	78	0.3000	39	0.2500	89.7
2005	133	0.2000	56	0.2500	74	0.3000	71	0.2500	80.6
2006	69	0.2000	56	0.2500	105	0.3000	104	0.2500	85.3
2007	117	0.2000	151	0.2500	145	0.3000	70	0.2500	122.2
2008	108	0.2000	150	0.2500	141	0.3000	95	0.2500	125.2
2009	77	0.2000	85	0.2500	140	0.3000	73	0.2500	96.9
2010	88	0.2000	94	0.2500	125	0.3000	68	0.2500	95.6
2011	113	0.2000	79	0.2500	93	0.3000	34	0.2500	78.8
2012	115	0.2000	110	0.2500	90	0.3000	57	0.2500	91.8

Tabel 4. Hitungan hujan rancangan wilayah Malang

No.	Tahun	Xi (mm/hari)	Log Xi	(Log Xi - Log X) ²	(Log Xi - Log X) ³	No.	Kala Ulang (T) (tahun)	P (%)	K	S log X	K*(S log X)	Log X rerata	Log X _T	X _T (mm/hari)
						[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	2003	82.7	1.9175	0.0029	-0.0002	1	1.01	99.01	-1.5666	0.070	-0.1101	1.972	1.8617	72.72
2	2004	89.7	1.9526	0.0004	0.0000	2	2	50	-0.1689	0.070	-0.0119	1.972	1.9598	91.17
3	2005	80.6	1.9061	0.0043	-0.0003	3	5	20	0.7540	0.070	0.0530	1.972	2.0247	105.85
4	2006	85.3	1.9309	0.0017	-0.0001	4	10	10	1.3403	0.070	0.0942	1.972	2.0659	116.38
5	2007	122.2	2.0869	0.0133	0.0015	5	25	4	2.0317	0.070	0.1427	1.972	2.1144	130.15
6	2008	125.2	2.0974	0.0158	0.0020	6	50	2	2.5552	0.070	0.1795	1.972	2.1512	141.65
7	2009	96.9	1.9863	0.0002	0.0000	7	100	1	3.0419	0.070	0.2137	1.972	2.1854	153.25
8	2010	95.6	1.9805	0.0001	0.0000	8	200	0.5	3.5153	0.070	0.2470	1.972	2.2187	165.45
9	2011	78.8	1.8963	0.0057	-0.0004	9	1000	0.1	4.5829	0.070	0.3219	1.972	2.2937	196.63
10	2012	91.8	1.9626	0.0001	0.0000									
Jumlah		948.5	19.717	0.04442	0.00257	Keterangan :								
Rerata Log Xi = Log X		1.972				[2] = kala ulang (tahun)						[6] = [4] * [5]		
Koefisien Asimetri Log. Cs =		1.031				[3] = probabilitas (%)						[7] = nilai rerata logaritmis		
Standart Deviasi Log. s log X =		0.070				[4] = faktor frekuensi K (Tabel logPerson Tipe III)						[8] = [6] + [7]		
Sumber: Perhitungan						[5] = standart deviasi logaritmis						[9] = Antilog [8]		

4.2 Potensi Aliran Permukaan

Aliran permukaan yang dimaksud adalah air hujan yang jatuh dan mengalir di permukaan dan masuk ke dalam sungai menjadi aliran sungai. Jadi aliran sungai berasal dari limpasan permukaan (*surface run off*) ditambah dengan aliran antara (*interflow*) yaitu aliran air sungai yang berasal dari rembesan tanah. Gabungan antara *surface run off* dan *interflow* disebut sebagai aliran permukaan langsung (*direct run off*). Di sungai, *direct run off* bercampur dengan aliran dasar sungai yang berasal dari mata air (*base flow*), sehingga debit sungai akan dihitung sebagai jumlah total antara *direct run off* dan *base flow*. Yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah aliran permukaan yang merupakan aliran terbesar yang diakibatkan oleh hujan

rancangan dengan periode ulang tertentu, sehingga dihasilkan debit banjir rancangan. Debit banjir rancangan ini yang nantinya bisa digunakan sebagai dasar untuk mendesain bangunan-bangunan pelindung sungai ataupun bangunan-bangunan lainnya di sekitar sungai yang dipengaruhi oleh aliran sungai.

4.3 Potensi Air Baku Untuk Air Bersih di Wilayah Malang Raya

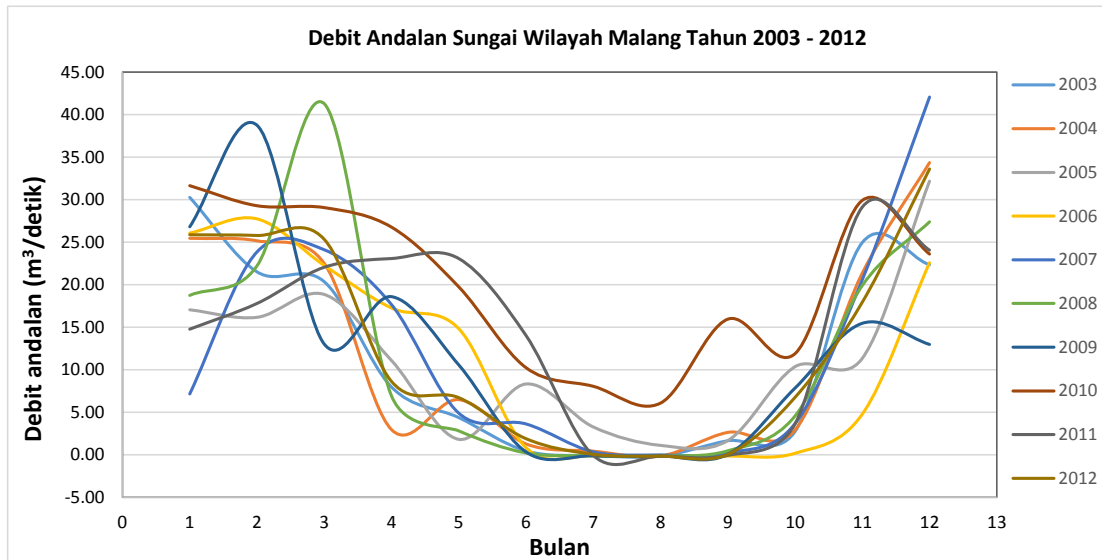
Untuk memperkirakan ketersediaan air permukaan sebagai sumber air baku bisa dilakukan dengan memperkirakan besarnya debit andalan sungai. Debit andalan sungai adalah debit minimum yang diperkirakan selalu ada (mengalir) di sungai dengan tingkat keyakinan tertentu yang pada dasarnya diperoleh dari analisis statistik

terhadap data hujan harian dan kondisi daerah aliran sungai yang bersangkutan. Debit andalan sungai dapat dianalisis dengan metode NRECA ataupun metode yang dikembangkan oleh F.J. Mock berdasarkan kondisi sungai-sungai di Indonesia. Dalam studi ini digunakan metode F.J. Mock. Data-data yang digunakan untuk menganalisis debit andalan dengan metode F.J. Mock adalah data hujan harian, jumlah hari hujan tiap bulan, data evapotranspirasi yang biasanya dianalisis dengan metode Penmann, data luas DAS dan kondisi tutupan lahannya.

Besarnya evapotranspirasi dianalisis dengan metode Penmann. Data yang diperlukan untuk analisis evapotranspirasi

dengan metode Penmann adalah data suhu rata-rata harian, kelembaban udara, rata-rata jam penyinaran matahari, dan data-data lainnya sehingga diperoleh besarnya evapotranspirasi harian.

Dengan data evapotranspirasi selanjutnya digunakan untuk analisis debit andalan sekaligus besarnya infiltrasi yang akan menjadi cadangan air tanah. Daerah aliran sungai yang lain dan tahun-tahun berikutnya dianalisis untuk memperoleh besarnya debit andalan dan volume air yang masuk sebagai cadangan air tanah setiap tahunnya dari tahun 2003 sampai dengan 2012.



Gambar 5. Grafik debit andalan sungai wilayah Malang tahun 2003-2012

Tabel 5. Debit andalan dan volume air permukaan wilayah Malang tahun 2003-2012

Tahun	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Debit andalan (m ³ /detik)	136.30	145.64	133.71	137.07	149.45	145.82	146.05	246.12	174.40	155.58
Volume Air Permukaan (x 10 ⁹ m ³)	4.30	4.59	4.22	4.32	4.71	4.60	4.61	7.76	5.50	4.91

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis terhadap tren perubahan volume air permukaan pada tahun 2003 hingga 2012, dapat diprediksi volume air permukaan wilayah Malang hingga 20 tahun ke depan. Jumlah air permukaan mengalami kenaikan hingga mencapai 19% pada tahun ke-10, mencapai 28.5% pada tahun ke-15 dan mencapai 39% pada tahun ke-20. Apabila air permukaan ini dapat dipergunakan sebagai salah satu pasokan air baku, maka terdapat potensi tambahan air baku sebesar 2000 juta m³ pada tahun 2034.

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian mengenai pengaruh perubahan iklim terhadap ketersediaan air baku di wilayah Malang Raya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi ketersediaan air di Wilayah Malang Raya saat ini terindikasi dapat memenuhi kebutuhan yang ada. Meskipun demikian, terlihat adanya penurunan debit yang dapat berpotensi terhadap tidak tercukupinya kebutuhan air baku di masa depan.
2. Dengan adanya perubahan tata guna lahan dan perubahan iklim, maka dapat mengakibatkan potensi banjir dan kekeringan di beberapa Wilayah Malang Raya. Dengan topografi yang berupa daerah pegunungan dan perbukitan, wilayah Malang Raya tidak memiliki permasalahan dengan potensi intrusi air laut dan kenaikan muka air laut yang diakibatkan oleh perubahan iklim, meski demikian di beberapa daerah terindikasi adanya potensi longsor yang dapat diakibatkan oleh terjadinya musim hujan yang panjang.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Asdak C. 2004. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Groves D.G., Knopman D., Lempert R.J., Berry S.H., and Wainfan L. 2008. Identifying and

Reducing Climate-Change Vulnerabilities in Water-Management Plans. *RAND corporation*, RB-93150NSF. Diakses pada alamat http://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB9315.html.

- McCarthy J.J. 2001. Climate Change 2011: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Contribution to Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Muhammed A., Stewart B.A., Mitra A.P., Shrestha K. Ahmed A.U., and Chowdhury A.M. 2004. Water Resources in South Asia: An Assessment of Climate Change – associated Vulnerabilities and Coping Mechanisms. Final report for APN Project 2004-CMY-Muhammed. Asia-Pacific Network for Global Change Research, India.
- Pryor S.C. 2013. Climate Change in the Midwest: Impacts, Risks, Vulnerability, and Adaptation. Indiana University press, US.
- Pujiraharjo, Alwafi, dkk. 2013. Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Ketersediaan Air Baku di Kabupaten Mojokerto. Laporan Akhir Penelitian UUK BPP Fakultas Teknik.
- Rajasthan and Pradesh, A. 2009. Vulnerability reduction and adaptation to climate change in semi arid India – Water Resource Management. SDC Supported Vulnerability Assessment and Enhancing Adaptive Capacity to Climate Change Programme, India.
- Soewarno. 1991. Hidrologi: Pengukuran dan Pengelolaan Data Aliran Sungai. Nova, Jakarta.