



Simulasi Dampak Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Neraca Air di DAS dan Sub-DAS Rejoso Menggunakan Model GenRiver

WORLD AGROFORESTRY CENTRE

Simulasi dampak perubahan tutupan lahan terhadap neraca air di DAS dan Sub-DAS Rejoso menggunakan Model GenRiver

Penulis:

Lisa Tanika, Ni'matul Khasanah, Beria Leimona



Sitasi

Tanika L, Khasanah N, Leimona B. 2018. Simulasi dampak perubahan tutupan lahan terhadap neraca air di DAS dan Sub-DAS Rejoso menggunakan model GenRiver. Report. Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program.

Pernyataan Hak Cipta

The World Agroforestry Centre (ICRAF) memegang hak cipta atas publikasi dan halaman webnya, namun memperbanyak untuk tujuan non-komersial dengan tanpa merubah isi yang terkandung di dalamnya diperbolehkan. Pencantuman referensi diharuskan untuk semua pengutipan dan perbanyak tulisan dari buku ini. Pengutipan informasi yang menjadi hak cipta pihak lain tersebut harus dicantumkan sesuai ketentuan.

Link situs yang ICRAF sediakan memiliki kebijakan tertentu yang harus dihormati. ICRAF menjaga database pengguna meskipun informasi ini tidak disebarluaskan dan hanya digunakan untuk mengukur kegunaan informasi tersebut. Informasi yang diberikan ICRAF, sepengetahuan kami akurat, namun kami tidak memberikan jaminan dan tidak bertanggungjawab apabila timbul kerugian akibat penggunaan informasi tersebut. Tanpa pembatasan, silahkan menambah link ke situs kami www.worldagroforestry.org pada situs anda atau publikasi.

World Agroforestry Centre (ICRAF)
Southeast Asia Regional Program
Jl. CIFOR, Situ Gede, Sindang Barang,
Bogor 16115 [PO Box 161 Bogor 16001] Indonesia
Tel: +(62) 251 8625 415 Fax: +(62) 251 8625416
Email: icraf-indonesia@cgiar.org
www.worldagroforestry.org/region/southeast-asia
blog.worldagroforestry.org

Foto Sampul: Ni'matul Khasanah dan Tata letak: Riky Mulya Hilmansyah

2018

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	v
1. PENDAHULUAN	1
2. TAHAPAN PEMODELAN	2
3. KARAKTERISTIK DAS REJOSO.....	3
3.1 Ketersediaan data	3
3.2 Debit dan Sub-DAS Rejoso	3
3.3 Curah hujan dan evaporasi	4
3.4 Tutupan lahan.....	5
4. PEMODELAN DAS REJOSO DENGAN GENRIVER	7
4.1 Modifikasi model GenRiver	7
4.2 Paramerisasi dan Kalibrasi model GenRiver	8
4.3 Skenario perubahan tutupan lahan tahun 2015-2030	9
5. DAMPAK PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP NERACA AIR DAS REJOSO	10
5.1 Tahun 1990-2015	10
5.2 Tahun 2015-2030	12
6. DAMPAK PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP NERACA AIR SUB-DAS REJOSO.....	14
6.1 Sub-DAS Re-01	14
6.2 Sub-DAS Re-04	16
6.3 Sub-DAS Re-05	18
6.4 Sub-DAS Re-06	19
7. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....	22
7.1 Kesimpulan	22
7.2 Rekomendasi.....	22
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tahapan pemodelan hidrologi menggunakan model GenRiver	2
Gambar 2. Deliniasi sub-DAS dari DAS Rejoso beserta lokasi stasiun pengukuran (kiri) dan rata-rata debit pengukuran di stasiun Rejoso Hulu dan Rejoso Hilir (kanan)	4
Gambar 3. Korelasi antara curah hujan tahunan dengan elevasi stasiun pengukuran	4
Gambar 4. Curah hujan dan evaporasi potensial bulanan rata-rata di DAS Rejoso	5
Gambar 5. Persentase tutupan lahan DAS Rejoso tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015	5
Gambar 6. Lokasi sungai Rejoso (kali Rejoso) dan outlet mata air Umbulan (B8) (sumber: CK-Net)	7
Gambar 7. Korelasi antara debit sungai Rejoso dan debit mata air umbulan	8
Gambar 8. Perbandingan debit pengukuran dan debit hasil model GenRiver di stasiun Rejoso Hilir tahun 2007 dan 2009	8
Gambar 9. Neraca air DAS Rejoso tahun 1990-2015 (Curah hujan = evapotranspirasi + aliran permukaan + aliran bawah permukaan + aliran dasar)	10
Gambar 10. Tren perubahan aliran permukaan, aliran bawah permukaan, aliran dasar dan aliran yang berasal dari mata air umbulan sebagai akibat perubahan tutupan lahan di DAS Rejoso tahun 1990-2015.....	11
Gambar 11. Dampak kegiatan penambahan jumlah pohon terhadap neraca air DAS Rejoso tahun 2015-2030....	13
Gambar 12. Tumpang susun pembagian sub-DAS Rejoso dan desa lokasi piloting kegiatan penambahan jumlah pohon	14
Gambar 13. Lokasi Sub-DAS Re-01 di DAS Rejoso (kiri) dan persentase tutupan lahan di Sub-DAS Re-01 tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015	15
Gambar 14. Tren perubahan neraca aliran di Sub-DAS Re-01 tahun 1990-2030	15
Gambar 15. Dampak perluasan area penambahan pohon terhadap perubahan aliran permukaan (kiri) dan infiltrasi (kanan) di Sub-DAS Re-01	16
Gambar 16. Lokasi Sub-DAS Re-04 di DAS Rejoso (kiri) dan persentase tutupan lahan di Sub-DAS Re-04 tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015	16
Gambar 17. Tren perubahan neraca aliran di Sub-DAS Re-04 tahun 1990-2030	17
Gambar 18. Dampak perluasan area penambahan pohon terhadap perubahan aliran permukaan (kiri) dan infiltrasi (kanan) di Sub-DAS Re-04	17
Gambar 19. Lokasi Sub-DAS Re-04 di DAS Rejoso (kiri) dan persentase tutupan lahan di Sub-DAS Re-05 tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015	18
Gambar 20. Tren perubahan neraca aliran di Sub-DAS Re-05 tahun 1990-2030	19
Gambar 21. Dampak perluasan area penambahan pohon terhadap perubahan aliran permukaan (kiri) dan infiltrasi (kanan) di Sub-DAS Re-05	19
Gambar 22. Lokasi Sub-DAS Re-04 di DAS Rejoso (kiri) dan persentase tutupan lahan di Sub-DAS Re-06 tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015	20
Gambar 23. Tren perubahan neraca aliran di Sub-DAS Re-06 tahun 1990-2030	20
Gambar 24. Dampak perluasan area penambahan pohon terhadap perubahan aliran permukaan (kiri) dan infiltrasi (kanan) di Sub-DAS Re-06	21

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data sekunder yang sudah dikumpulkan yang digunakan sebagai input model GenRiver	3
Tabel 2. Luas penggunaan dan tutupan lahan DAS Rejoso.....	6
Tabel 3. Kemampuan model GenRiver dalam merepresentasikan DAS Rejoso.....	8
Tabel 4. Skenario perubahan tutupan lahan tahun 2015-2030	9
Tabel 5. Perubahan nilai parameter tutupan lahan agroforestri dan hotikultura sebelum dan sesudah penambahan jumlah pohon	9
Tabel 6. Rata-rata neraca air DAS Rejoso pada setiap periode perubahan tutupan lahan pada tahun basah (curah hujan = 3385 mm) dan tahun kering (curah hujan = 1823 mm)	11
Tabel 7. Persentase (terhadap curah hujan) rata-rata neraca air DAS Rejoso pada setiap periode perubahan tutupan lahan pada tahun basah (curah hujan = 3385 mm) dan tahun kering (curah hujan = 1823 mm)	12
Tabel 8. Rata-rata neraca air	13

1. PENDAHULUAN

Kondisi hidrologi DAS terkait debit dan neraca air dapat dianalisis dengan bantuan model hidrologi. Model hidrologi merupakan suatu representasi atau gambaran matematik suatu sistem untuk mempelajari atau mensimulasikan fungsi atau respons suatu DAS terhadap berbagai masukan dalam suatu DAS. Melalui model hidrologi tersebut dapat diprediksi besarnya perubahan debit air yang terjadi sebagai akibat adanya perubahan dalam DAS di masa yang akan datang. Selain itu keberadaan model juga dapat menghemat biaya, tenaga dan waktu dalam proses penelitian untuk membantu pengambilan kebijakan yang menunjang rencana pengelolaan DAS.

World Agroforestry Centre (ICRAF) mengembangkan model Generic River Flow (GenRiver) (van Noordwijk et al., 2011) sebagai model hidrologi yang digunakan untuk melihat pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap perubahan neraca air. Gambar 1 menggambarkan tiga tahapan dalam melakukan pemodelan hidrologi menggunakan model GenRiver untuk memenuhi tujuan penelitian ini, yaitu: (1) persiapan yang meliputi pengumpulan dan analisis data, (2) pemodelan yang terdiri kalibrasi, validasi dan simulasi scenario, dan (3) analisis hasil yang terdiri dari analisis hasil dan rekomendasi.

Dalam studi kasus pengembangan skema ko-investasi jasa lingkungan dalam inisiatif '**Rejoso Kita**', model GenRiver akan digunakan untuk melihat pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap neraca air terutama aliran permukaan (*surface flow*), aliran bawah permukaan (*sub-surface flow*) dan aliran dasar (*base flow*) di DAS Rejoso (40,504 ha)¹ baik yang telah terjadi (*historical condition*) maupun yang mungkin akan terjadi (*future condition*). Skenario tutupan lahan di masa depan yang digunakan dalam penelitian ini adalah skenario penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Melihat dampak perubahan tutupan lahan terhadap neraca air di DAS dan sub-DAS Rejoso tahun 1990-2015
- Melihat dampak kegiatan penambahan jumlah pohon terhadap neraca air di DAS dan sub-DAS Rejoso tahun 2015-2030
- Memperkirakan besarnya perubahan aliran permukaan dan tingkat infiltrasi sebagai dampak dari kegiatan penambahan jumlah pohon di area agroforestri dan hortikultura

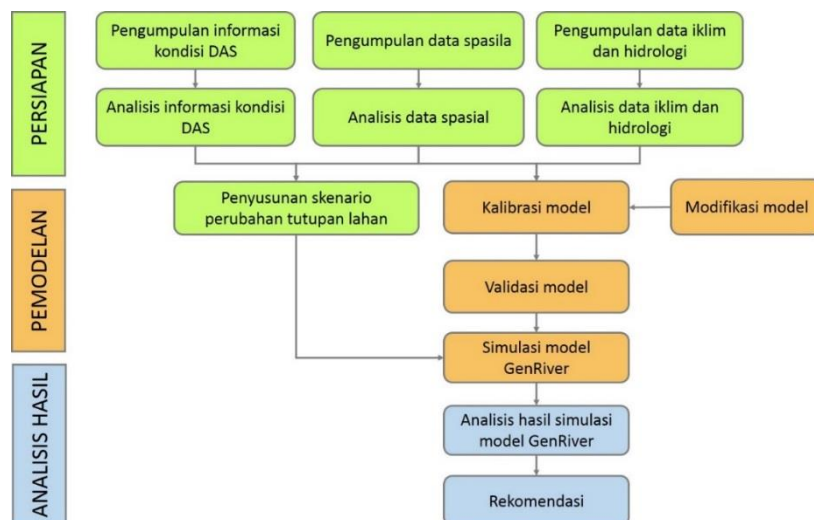
Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi masukan mengenai rencana pengelolaan DAS terkait perubahan tutupan lahan sehingga mampu meningkatkan fungsi DAS.

¹ Luas daerah aliran sungai mengacu hanya DAS Rejoso dan tidak termasuk DAS Petung

2. TAHAPAN PEMODELAN

Gambar 1 menggambarkan tiga tahapan dalam melakukan pemodelan hidrologi menggunakan model GenRiver untuk memenuhi tujuan penelitian ini.

1. **Persiapan input model GenRiver.** Tahap ini merupakan persiapan semua input yang diperlukan untuk mensimulasikan DAS Rejoso termasuk proses pengumpulan dan analisis data. Data yang telah dikumpulkan selanjutnya dianalisis dan disusun sesuai dengan format yang diperlukan oleh model GenRiver. Pengumpulan informasi kondisi DAS dari berbagai pemangku kepentingan (masyarakat, pemerintah, LSM, perusahaan pemanfaat air atau yang ada di area DAS) juga diperlukan sebagai informasi dalam menyusun skenario perubahan tutupan lahan. Proses analisis data iklim, hidrologi dan spasial lebih lanjut dapat dilihat pada Khasanah et al 2010.
2. **Pemodelan hidrologi menggunakan model GenRiver.** Tahap pemodelan hidrologi dengan model GenRiver di DAS Rejoso dimulai dengan tahap modifikasi model. Hal ini dilakukan karena di DAS Rejoso terdapat mata air Umbulan dimana debit airnya mengalir masuk ke sungai Rejoso dengan jumlah yang cukup besar. Setelah modifikasi model maka selanjutnya adalah kalibrasi dan validasi model. Kalibrasi merupakan suatu proses penyesuaian beberapa nilai parameter (parameterisasi) dalam model dengan tujuan agar hasil simulasi menyerupai kondisi DAS sebenarnya (Kobolt, 2008). Nilai-nilai parameter yang disesuaikan pada umumnya merupakan parameter yang sulit untuk dilakukan pengukuran seperti tingkat infiltrasi, kapasitas maksimum tanah, kekasaran sungai, dll. Validasi merupakan proses perbandingan antara debit hasil simulasi model dengan debit sebenarnya atau pengukuran di lapangan. Setelah tahap kalibrasi dan validasi selesai, tahap selanjutnya adalah mensimulasikan berbagai skenario perubahan tutupan lahan untuk melihat dampaknya terhadap neraca air.
3. **Analisis hasil simulasi skenario perubahan tutupan lahan.** Tahap ini merupakan tahap akhir, dimana kita membandingkan hasil simulasi berbagai skenario perubahan tutupan lahan. Keluaran dari tahap ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam membuat rencana pengelolaan DAS di masa depan.



Gambar 1. Tahapan pemodelan hidrologi menggunakan model GenRiver

3. KARAKTERISTIK DAS REJOSO

3.1 Ketersediaan data

Data utama yang diperlukan untuk melihat dampak perubahan tutupan lahan terhadap neraca air dengan menggunakan model hidrologi yaitu curah hujan harian, debit harian dan tutupan lahan. Ketersediaan data yang diperlukan untuk pemodelan hidrologi DAS Rejoso cukup mudah diperoleh. Tabel 1 merupakan data sekunder yang tersedia yang dikumpulkan untuk pemodelan hidrologi DAS Rejoso. Tidak semua data dapat digunakan dalam pemodelan karena kualitas data dan lokasi stasiun pengamatan curah hujan dan debit.

Tabel 1. Data sekunder yang sudah dikumpulkan yang digunakan sebagai input model GenRiver

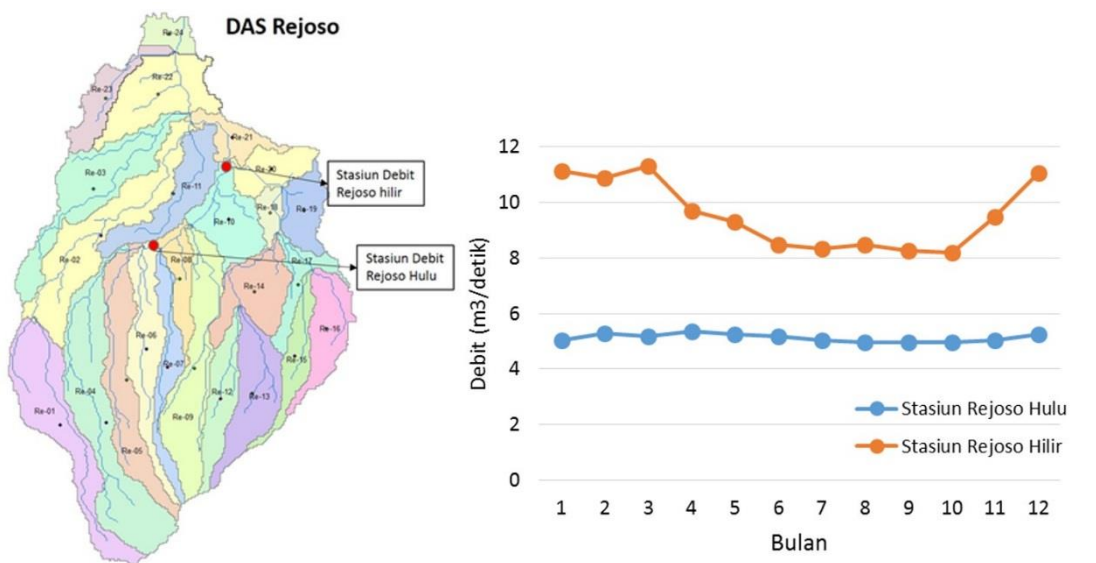
	Jenis Data	Tipe data	Tahun	Stasiun	Sumber
Iklim	Curah hujan	Harian	2000-2016	14 stasiun	UPT Gembong Pekalen, P3GI
	Evaporasi	Harian	2003-2009	1 stasiun	P3GI
Hidrologi	Debit	Harian	2007-2016	2 stasiun	UPT Gembong Pekalen
Spasial	DEM	-	-		ICRAF
	Tutupan lahan	-	1990, 2000, 2010, 2015		ICRAF
	Tanah	-	-		ICRAF

3.2 Debit dan Sub-DAS Rejoso

Berdasarkan hasil pengumpulan data debit, terdapat dua stasiun debit yang ada di DAS Rejoso. Kedua stasiun debit tersebut berada di Kecamatan Winongan (setelah mata air umbulan), yaitu stasiun Rejoso Hulu dengan luas tangkapan air 51.4 km² dan stasiun Rejoso Hilir dengan luas tangkapan air 108.9 km². Gambar 2 menunjukkan lokasi stasiun pengukuran debit yang ada di DAS Rejoso.

Berdasarkan hasil analisis data debit di dua stasiun, debit di stasiun Rejoso Hilir lebih mendekati pola curah hujan DAS Rejoso dibandingkan debit di stasiun Rejoso Hulu. Oleh karena itu data debit stasiun Rejoso Hilir digunakan sebagai data pengukuran dalam proses kalibrasi model.

Berdasarkan hasil deliniasi, DAS Rejoso dapat dibagi menjadi 24 sub-DAS (Gambar 2). Jumlah sub-DAS ini berdasarkan kapasitas maksimal Sub-DAS yang dapat diakomodasi oleh model GenRiver. Karakteristik masing-masing sub-DAS dapat dilihat pada Lampiran 3.



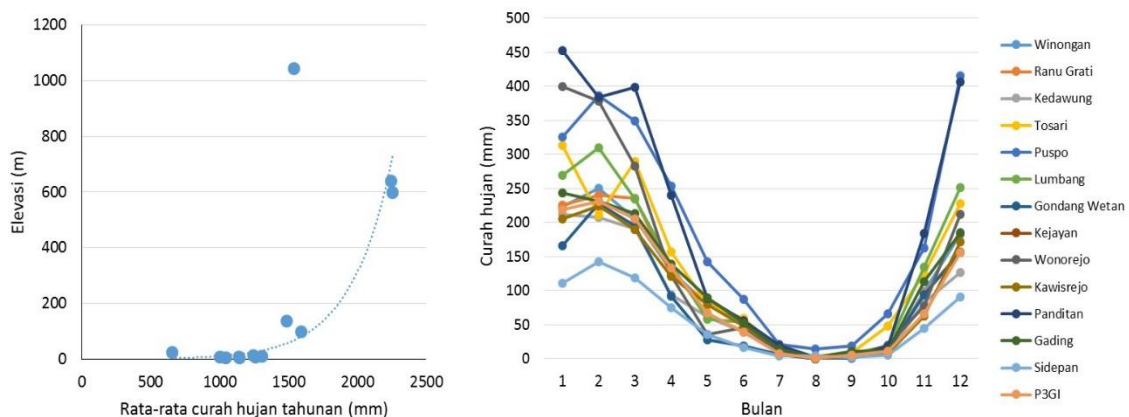
Gambar 2. Deliniasi sub-DAS dari DAS Rejoso beserta lokasi stasiun pengukuran (kiri) dan rata-rata debit pengukuran di stasiun Rejoso Hulu dan Rejoso Hilir (kanan)

3.3 Curah hujan dan evaporasi

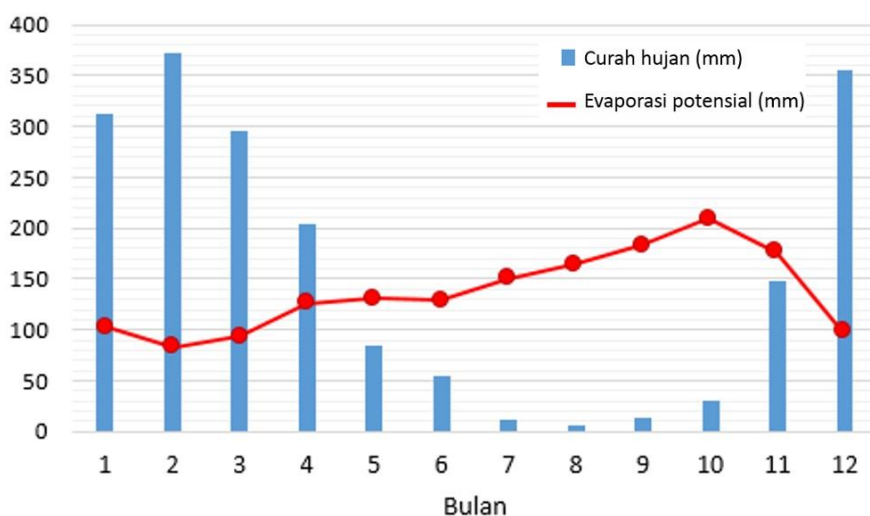
Empat belas stasiun curah hujan yang ada tersebar dari daerah hulu hingga hilir dari DAS Rejoso, yaitu: st. Winongan, st. Ranu Grati, st. Kedawung, st. Tosari, st. Puspo, st. Lumbang, st. Gondang Wetan, st. Kejayan, st. Wonorejo, st. Kawisrejo, st. Panditan, st. Gading, st. Sidepan dan st. P3GI. Namun demikian tidak semua stasiun curah hujan memiliki data curah hujan harian lengkap selama 16 tahun (2000-2016), sebagian besar data hanya tersedia sejak tahun 2008-2016.

Berdasarkan hasil analisis data, rata-rata curah hujan tahunan di DAS Rejoso adalah 1300 mm dengan musim kering antara bulan Juni-Oktober dan musim hujan antara bulan Desember-Februari. Selain itu pola curah hujan di DAS Rejoso memiliki karakteristik meningkat seiring bertambahnya ketinggian lokasi (Gambar 3).

Berdasarkan data pengukuran evaporasi potensial yang diperoleh dari stasiun pengukuran P3GI, evaporasi potensial tertinggi terjadi pada bulan September-November (Gambar 4). Evaporasi potensial diukur menggunakan 'panci evaporasi'.



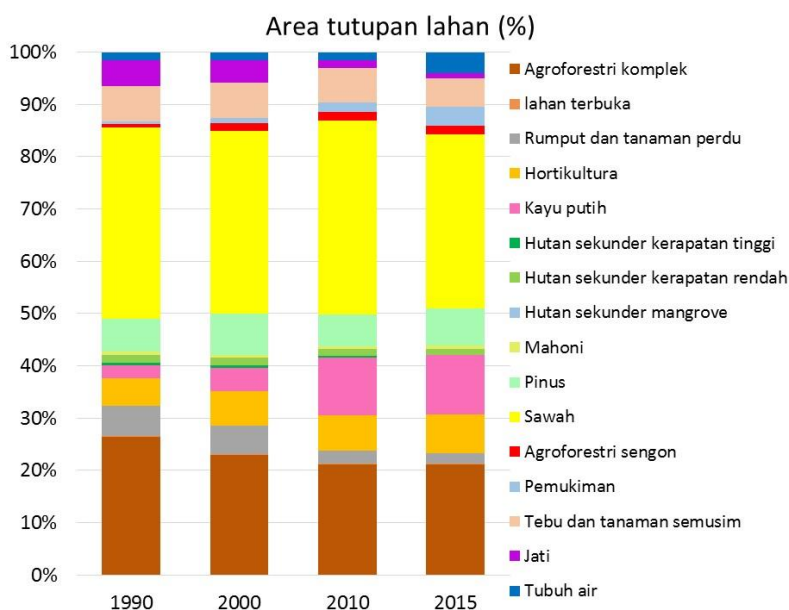
Gambar 3. Korelasi antara curah hujan tahunan dengan elevasi stasiun pengukuran



Gambar 4. Curah hujan dan evaporasi potensial bulanan rata-rata di DAS Rejoso

3.4 Tutupan lahan

Selama 25 tahun (1990-2015) tutupan lahan di DAS Rejoso yang banyak mengalami perubahan antara lain kebun kayu putih, jati, agroforestri kompleks dan hortikultura. Luas kebun kayu putih meningkat sebesar 7% dari area DAS Rejoso (40,504 ha) pada tahun 2010 dan 2% dari area DAS Rejoso (40,504 ha) pada tahun 2015. Luas area agroforestri mengalami penurunan sebesar 4% pada tahun 2000 dan 2% pada tahun 2010, namun pada tahun 2015 meningkat sebesar 1%. Tahun 2010 area perkebunan Jati dan Pinus mengalami penurunan sebesar 3% dan 2% karena dikonversi menjadi kebun kayu putih. Perubahan tutupan lahan DAS Rejoso tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015 secara lebih detail dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 2.



Gambar 5. Persentase tutupan lahan DAS Rejoso tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015

Tabel 2. Luas penggunaan dan tutupan lahan DAS Rejoso

Penggunaan dan tutupan lahan	Perubahan area tutupan lahan (ha)							
	1990		2000		2010		2015	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Hutan sekunder kerapatan tinggi	448	0.7%	416	0.7%	287	0.5%	32	0.1%
Hutan sekunder kerapatan rendah	1,252	2.0%	1,223	1.9%	853	1.4%	634	1.0%
Hutan mangrove sekunder	39	0.1%	15	0.0%	3	0.0%	3	0.0%
Kebun campuran	19,162	30.5%	17,793	28.4%	16,604	26.5%	15,834	25.2%
Kebun sengon campur	339	0.5%	695	1.1%	758	1.2%	608	1.0%
Kebun jati campur	1,702	2.7%	1,579	2.5%	637	1.0%	688	1.1%
Kebun kayu putih	838	1.3%	1,515	2.4%	3,563	5.7%	3,786	6.0%
Kebun randu monokultur	-		-		23	0.0%	23	0.0%
Hutan tanaman mahoni	460	0.7%	313	0.5%	343	0.5%	393	0.6%
Hutan tanaman pinus	4,289	6.8%	3,916	6.2%	4,259	6.8%	6,114	9.7%
Sawah	19,279	30.7%	19,378	30.9%	20,586	32.8%	18,123	28.9%
Tebu dan tanaman semusim	4,315	6.9%	3,715	5.9%	3,414	5.4%	3,112	5.0%
Hortikultura	4,664	7.4%	5,941	9.5%	5,333	8.5%	6,506	10.4%
Rumput dan perdu	3,452	5.5%	3,401	5.4%	2,227	3.5%	2,149	3.4%
Lahan terbuka	75	0.1%	169	0.3%	367	0.6%	301	0.5%
Permukiman	816	1.3%	1,059	1.7%	1,871	3.0%	2,822	4.5%
Tubuh air	725	1.2%	725	1.2%	725	1.2%	725	1.2%
Tidak ada data	919	1.5%	919	1.5%	919	1.5%	919	1.5%
Total	62,733	100	62,733	100	62,733	100	62,733	100

4. PEMODELAN DAS REJOSO DENGAN GENRIVER

4.1 Modifikasi model GenRiver

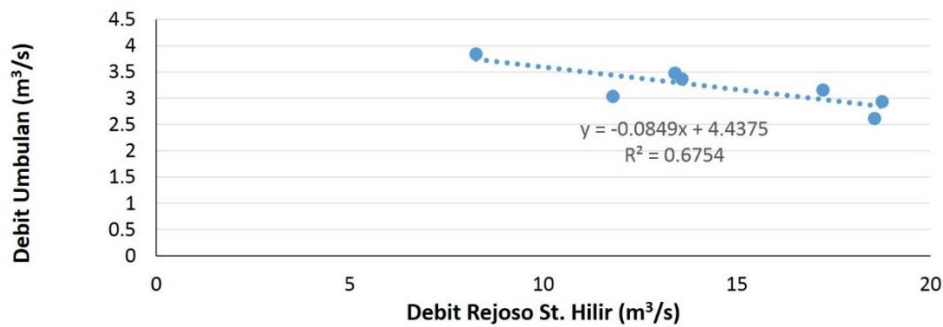
Modifikasi model GenRiver dilakukan untuk mengakomodasi keberadaan aliran air yang berasal dari mata air Umbulan. Berdasarkan peta lokasi mata air Umbulan dan sungai Rejoso (Gambar 6), terlihat bahwa terdapat aliran air yang keluar dari mata air Umbulan dan masuk ke sungai Rejoso yaitu di titik B8.

Berdasarkan hasil analisis, terdapat korelasi negatif antara data pengukuran debit mata air Umbulan yang dilakukan di titik B8 oleh CK-Net dengan data debit air sungai Rejoso (Gambar 7). Hal ini berarti bahwa debit mata air Umbulan saat musim hujan lebih rendah dibandingkan saat musim kering. Kondisi ini pernah dikonfirmasi oleh tim CK-Net kepada masyarakat sekitar.

Selanjutnya persamaan korelasi antara debit Umbulan dan debit sungai Rejoso digunakan untuk memperkirakan besarnya debit Umbulan harian berdasarkan debit harian sungai Rejoso.



Gambar 6. Lokasi sungai Rejoso (kali Rejoso) dan outlet mata air Umbulan (B8) (sumber: CK-Net)



Gambar 7. Korelasi antara debit sungai Rejoso dan debit mata air umbulan

4.2 Paramerisasi dan Kalibrasi model GenRiver

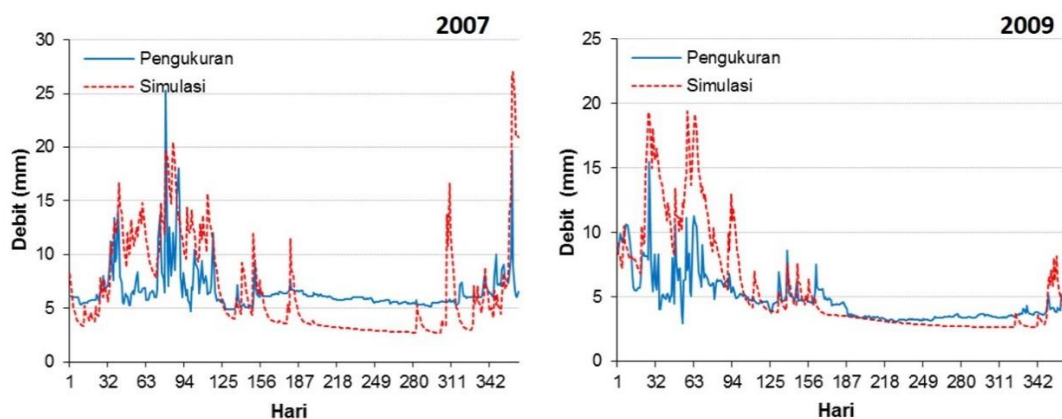
Kalibrasi dan validasi model GenRiver dilakukan dengan menggunakan data debit bulanan di stasiun Rejoso Hilir yang terletak di kecamatan Winongan tahun 2007-2011 dan data curah hujan di stasiun Puspo dan Lumbang. Kedua stasiun curah hujan tersebut dipilih sebagai data kalibrasi karena memiliki pola yang hampir sama dengan pola debit di stasiun Rejoso Hilir.

Hasil kalibrasi model GenRiver dengan nilai parameter seperti pada Lampiran 1 dan Lampiran 2 mempunyai rata-rata nilai NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*) sebesar 0.73% (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa 73% hasil simulasi model GenRiver mendekati kondisi DAS Rejoso sebenarnya. Gambar 8 merupakan perbandingan antara debit harian hasil simulasi model GenRiver dan debit pengukuran.

Tabel 3. Kemampuan model GenRiver dalam merepresentasikan DAS Rejoso

Tahun	Bias (%)	NSE*	Korelasi	Penilaian Bias	Penilaian NSE
2007	1.72	0.85	0.89	Sangat baik	Sangat baik
2008	12.12	0.63	0.32	Memuaskan	Memuaskan
2009	19.92	0.77	0.88	Memuaskan	Sangat baik
2010	35.68	0.56	0.73	Tidak memuaskan	Memuaskan
2011	-16.27	0.83	0.34	Baik	Sangat baik

Keterangan: NSE = Nash Sutcliffe Efficiency, merupakan indikator yang digunakan untuk menguji kemampuan suatu model hidrologi (Moriassi et al, 2007).



Gambar 8. Perbandingan debit pengukuran dan debit hasil model GenRiver di stasiun Rejoso Hilir tahun 2007 dan 2009

Selain menggunakan data debit stasiun Rejoso Hilir, kalibrasi model juga dilakukan dengan membandingkan aliran permukaan harian hasil simulasi GenRiver dengan aliran permukaan hasil pengukuran Universitas Brawijaya pada beberapa tipe tutupan lahan dengan berbagai kerapatan kanopi di mana sebagian besar tipe tutupan lahan yang diukur aliran permukaan dan infiltrasinya adalah agroforestri. Berdasarkan hasil pengukuran Universitas Brawijaya, rata-rata limpasan permukaan 29% dari curah hujan, sedangkan hasil simulasi model GenRiver rata-rata limpasan permukaan pada sistem agroforestri kompleks adalah 25%. Hal ini menunjukkan bahwa limpasan permukaan hasil model GenRiver mendekati hasil pengukuran di lapangan.

4.3 Skenario perubahan tutupan lahan tahun 2015-2030

Skenario perubahan tutupan lahan yang disusun dalam pemodelan hidrologi ini adalah dengan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura. Perluasan area agroforestri dan hortikultura yang dilakukan penambahan jumlah pohon dilakukan secara bertahap seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Sebagai referensi, juga dilakukan simulasi dengan skenario *business as usual* (BAU) yaitu luasan kebun hortikultura dan tanaman semusim meningkat dari tahun ke tahun.

Tabel 4. Skenario perubahan tutupan lahan tahun 2015-2030

Tahun	Target capaian			
	2015	2020	2025	2030
Lahan agroforestri	Sesuai kondisi aktual	Penambahan jumlah pohon di 30% area agroforestri	Penambahan jumlah pohon di 60% area agroforestri	Penambahan jumlah pohon pada seluruh lahan agroforestri
Lahan hortikultura	Sesuai kondisi aktual	Penambahan jumlah pohon di 30% area hortikultura	Penambahan jumlah pohon di 60% area hortikultura	Penambahan jumlah pohon paseluruh area hortikultura

Parameter dalam model GenRiver yang dilakukan penyesuaian untuk skenario ini adalah nilai intersepsi potensial, batas kekeringan relatif dan kegemburan tanah (BD/BD_{ref}). Tabel 5 menunjukkan perubahan nilai parameter tutupan lahan agroforestri dan hortikultura dari kondisi aktual dan setelah dilakukan penambahan jumlah pohon.

Tabel 5. Perubahan nilai parameter tutupan lahan agroforestri dan hortikultura sebelum dan sesudah penambahan jumlah pohon

Tipe Tutupan Lahan	Kondisi aktual			Skenario penambahan jumlah pohon		
	Intersepsi potensial (mm/hari)	Batas kekeringan relatif	BD/BD Ref	Intersepsi potensial (mm/hari)	Batas kekeringan relatif	BD/BD Ref
Agroforestri kompleks	3.0	0.60	0.95	3.25	0.55	0.92
Hortikultura	2.5	0.70	1.00	2.75	0.65	0.97

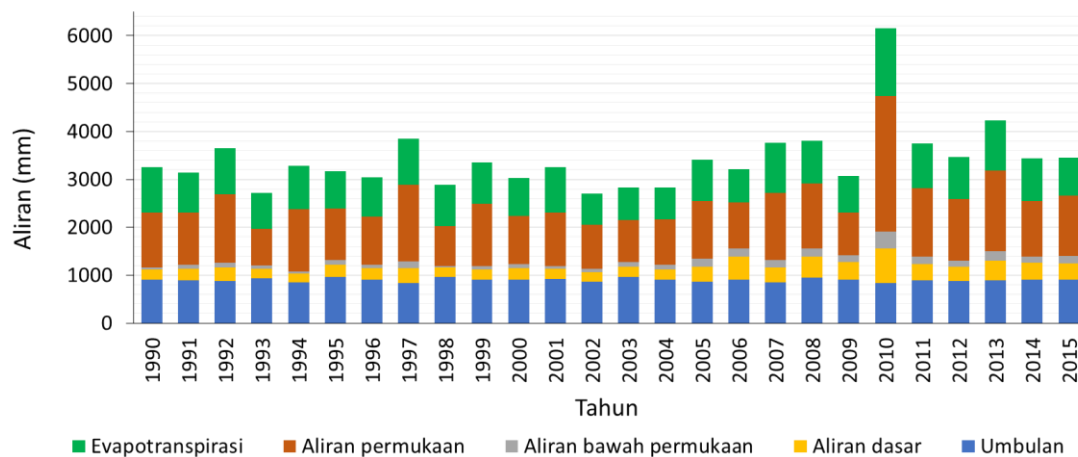
Penyesuaian nilai-nilai parameter untuk skenario penambahan jumlah pohon dibuat sedemikian rupa sehingga tutupan lahan tersebut tidak berubah menjadi tipe tutupan lahan yang lain. Sebagai contoh intersepsi potensial agroforestri kompleks aktual adalah 3.0 sehingga pada skenario penambahan jumlah pohon intersepsi potensial dibuat hanya 3.25, karena hutan sekunder kerapatan rendah mempunyai intersepsi potensial 3.5. Demikian juga intersepsi potensial aktual hortikultura adalah 2.5 maka pada skenario penambahan jumlah pohon dibuat hanya 2.75, karena intersepsi potensial agroforestri adalah 3.0.

5. DAMPAK PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP NERACA AIR DAS REJOSO

5.1 Tahun 1990-2015

Berdasarkan hasil simulasi Model GenRiver dengan menggunakan data curah hujan dan tutupan lahan aktual (yang sebenarnya), neraca air tahunan DAS Rejoso mengikuti pola curah hujan tahunan (Gambar 9). Saat curah hujan tahunan tinggi maka aliran permukaan, aliran bawah permukaan dan aliran dasar ikut meningkat, sebaliknya saat curah hujan tahunan rendah maka aliran permukaan, aliran bawah permukaan dan aliran dasar juga berkurang.

Selain evapotranspirasi, aliran permukaan, aliran bawah permukaan dan aliran dasar, terdapat aliran air yang berasal dari mata air Umbulan. Aliran ini ikut berkontribusi terhadap debit air yang ada di *outlet* DAS Rejoso. Berdasarkan hasil simulasi GenRiver, besarnya aliran air tahunan yang berasal dari mata air Umbulan cenderung stabil karena tidak terlalu terpengaruh dengan curah hujan tahunan.

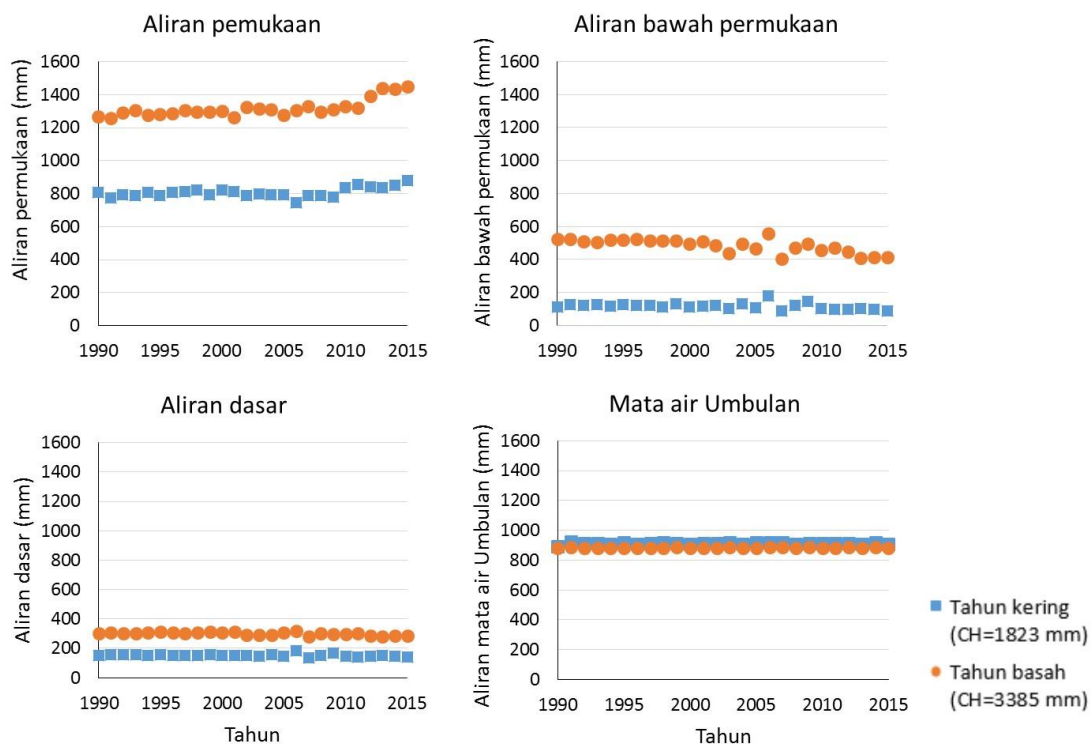


Gambar 9. Neraca air DAS Rejoso tahun 1990-2015 (Curah hujan = evapotranspirasi + aliran permukaan + aliran bawah permukaan + aliran dasar)

Karena neraca air DAS Rejoso banyak dipengaruhi oleh pola curah hujan tahunan, maka untuk melihat dampak perubahan tutupan lahan terhadap neraca air maka simulasi selanjutnya menggunakan curah hujan yang seragam untuk setiap tahun. Selain itu untuk melihat perbedaan neraca air saat curah hujan maksimum dan minimum, simulasi dilakukan dua kali dengan menggunakan curah hujan tahunan terendah untuk mewakili tahun kering dan curah hujan tahunan tertinggi untuk mewakili tahun basah.

Berdasarkan hasil simulasi GenRiver dengan menggunakan curah hujan yang seragam (tahun basah dan tahun kering) setiap tahunnya, tidak terdapat tren perubahan yang signifikan terhadap aliran bawah permukaan, aliran dasar dan mata air umbulan akibat perubahan tutupan lahan yang terjadi tahun 1990-2015 (Gambar 10). Namun aliran permukaan memperlihatkan adanya tren perubahan meningkat setelah tahun 2010. Peningkatan aliran

permukaan ini disebabkan oleh semakin berkurangnya area hutan dan agroforestri dan semakin bertambahnya area hortikultura, pemukiman dan kebun kayu putih.



Gambar 10. Tren perubahan aliran permukaan, aliran bawah permukaan, aliran dasar dan aliran yang berasal dari mata air umbulan sebagai akibat perubahan tutupan lahan di DAS Rejoso tahun 1990-2015

Diantara tiga periode perubahan tutupan lahan di DAS Rejoso (1990-2000, 2000-2010, 2010-2015), periode 2010-2015 memiliki persentase rata-rata aliran permukaan yang paling tinggi dan aliran bawah permukaan paling rendah dibandingkan dua periode yang lain (Tabel 6). Hal ini disebabkan karena pada tahun 2010 terjadi peningkatan area sawah dan kebun kayu putih serta penurunan agroforestri dan hutan yang menyebabkan berkurangnya air yang ditahan oleh tanaman (intersepsi) sehingga meningkatkan aliran permukaan. Karena tidak terlalu banyak perubahan tutupan lahan antara tahun 2010-2015 maka tidak terdapat perubahan yang signifikan terhadap neraca air.

Tabel 6. Rata-rata neraca air DAS Rejoso pada setiap periode perubahan tutupan lahan pada tahun basah (curah hujan = 3385 mm) dan tahun kering (curah hujan = 1823 mm)

	1990 - 2000		2000 - 2010		2010 - 2015	
Curah hujan	1823	3385	1823	3385	1923	3385
Evapotranspirasi	745	1264	735	1240	727	1241
Aliran permukaan	801	1288	795	1305	851	1396
Aliran bawah permukaan	121	515	122	480	99	436
Aliran dasar	154	306	153	299	145	290
Mata air umbulan	912	883	914	883	913	883

Berdasarkan analisis neraca air tahun 1990-2015, rata-rata curah hujan DAS Rejoso digunakan untuk evapotranspirasi sebesar 38.6% dan sisanya mengalir sebagai aliran air yaitu 61.4% (Tabel 7). Aliran air tersebut dapat dibagi menjadi aliran permukaan 42.0%, aliran bawah permukaan 10.2%, aliran dasar 8.5% dan tersimpan dalam tanah 1.2%.

Tabel 7. Persentase (terhadap curah hujan) rata-rata neraca air DAS Rejoso pada setiap periode perubahan tutupan lahan pada tahun basah (curah hujan = 3385 mm) dan tahun kering (curah hujan = 1823 mm)

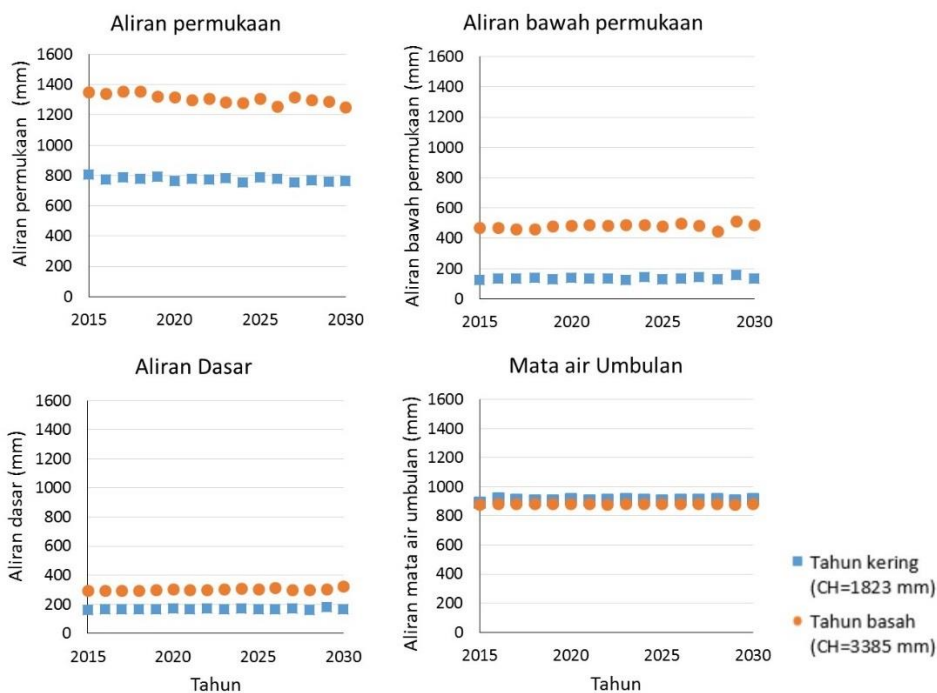
Komponen neraca air	1999 - 2000	2000 – 2010	2010 - 2015
Evapotranspirasi	39.1	38.5	38.3
Aliran permukaan	41.0	41.1	43.9
Aliran bawah permukaan	10.9	10.4	9.1
Aliran dasar	8.7	8.6	8.3

Analisis lebih lanjut dari hasil simulasi model GenRiver menunjukkan bahwa rata-rata nilai indikator penyangga (*buffering Indicator*) DAS Rejoso adalah sekitar 0.61. Hal ini berarti hanya 61 % dari kejadian hujan diatas rata-rata mampu diterima oleh DAS Rejoso.

5.2 Tahun 2015-2030

Berdasarkan hasil simulasi model GenRiver, kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri (komplek dan sengan) dan hortikultura di DAS Rejoso menyebabkan penurunan aliran permukaan pada pada tahun 2030 (Gambar 11), terutama pada tahun basah (tahun dengan curah hujan tinggi). Namun pada saat tahun kering kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan terhadap neraca air DAS Rejoso.

Setelah adanya kegiatan penambahan jumlah pohon di area agroforestri dan hortikultura, rata-rata aliran permukaan, aliran bawah permukaan dan aliran dasar dari tahun 2015-2030 adalah 40.6% 10.8% dan 9.1% (Tabel 8). Jika dibandingkan dengan persentase neraca air periode 2010-2015 pada Tabel 7, persentase aliran permukaan rata-rata mengalami mengalami penurunan, sebaliknya aliran bawah permukaan dan aliran dasar mengalami peningkatan walaupun tidak terlalu besar.



Gambar 11. Dampak kegiatan penambahan jumlah pohon terhadap neraca air DAS Rejoso tahun 2015-2030

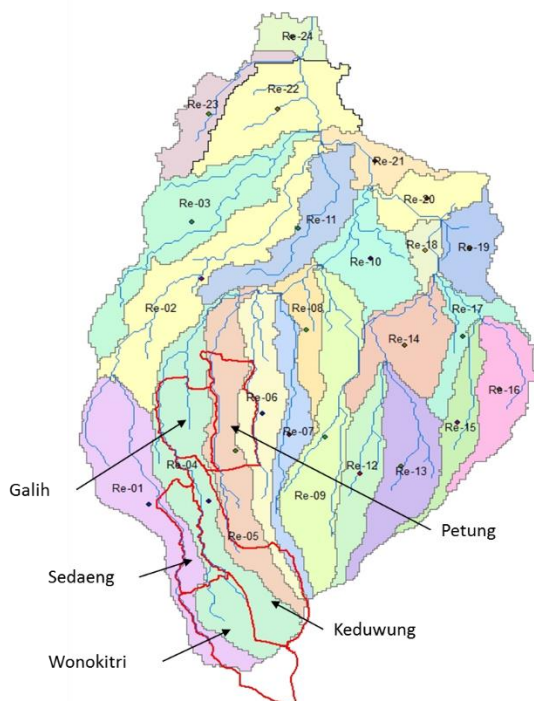
Tabel 8. Rata-rata neraca air

Komponen neraca air	Tahun kering		Tahun basah	
	mm	%	mm	%
Curah hujan	1823		3385	-
Evapotranspirasi	725	39.8	1249	36.9
Aliran permukaan	775	42.5	1309	48.7
Aliran bawah permukaan	136	7.4	481	14.2
Aliran dasar	168	9.2	303	9.0
Air tersimpan dalam tanah	19	1.0	43	1.3
Mata air umbulan	911		883	-

Analisis lebih lanjut dari hasil simulasi model GenRiver tahun 2015-2030 menunjukkan bahwa rata-rata nilai indikator penyangga (*buffering indicator*) DAS Rejoso adalah sekitar 0.61. Hal berarti kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura belum mampu meningkatkan kemampuan DAS Rejoso untuk menyangga kejadian hujan diatas rata-rata.

6. DAMPAK PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP NERACA AIR SUB-DAS REJOSO

Untuk melihat dampak perubahan tutupan lahan terhadap neraca air pada tingkat sub-DAS, maka dipilih beberapa sub-DAS untuk dilakukan analisis neraca air lebih lanjut. Sub-DAS yang dipilih untuk dianalisis lebih lanjut merupakan sub-DAS dimana terdapat kegiatan pilot ko-investasi jasa lingkungan berupa penambahan jumlah pohon di area agroforestri dan hortikultura. Gambar 12 merupakan tumpang susun antara peta sub-DAS Rejoso dan desa-desa yang berpotensi dilakukan kegiatan ko-investasi jasa lingkungan.

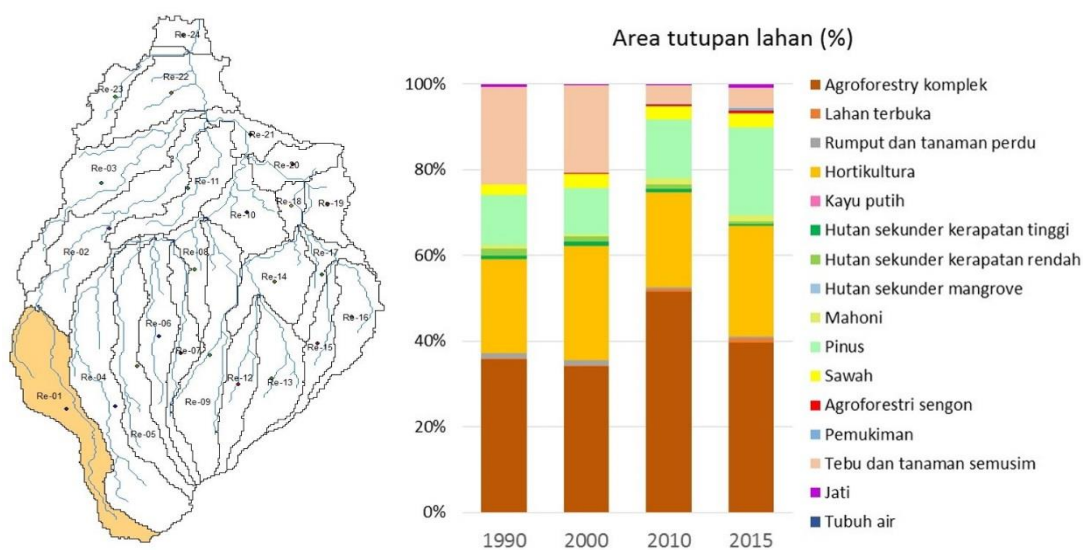


Gambar 12. Tumpang susun pembagian sub-DAS Rejoso dan desa lokasi piloting kegiatan penambahan jumlah pohon

Berdasarkan hasil tumpang susun tersebut maka sub-DAS Re-01, Re-04, Re-05 dan Re-06 merupakan sub-DAS dimana memiliki area agroforestri dan hortikultura yang cukup luas sehingga kegiatan ko-investasi jasa lingkungan memiliki potensi dilakukan.

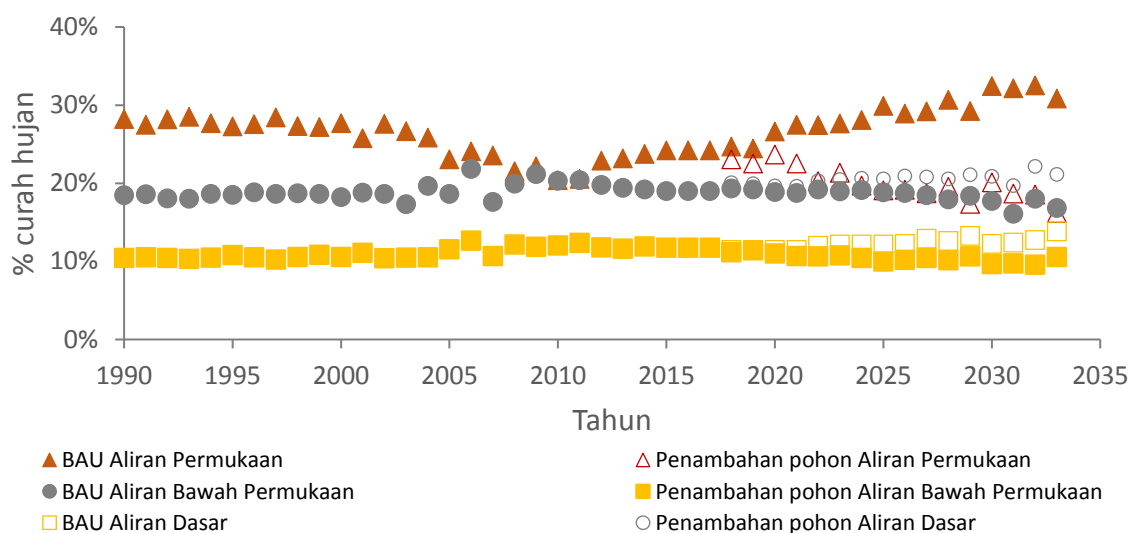
6.1 Sub-DAS Re-01

Sub-DAS Re-01 yang memiliki luas (3008 ha) terletak di hulu DAS Rejoso. Tahun 2015, 40% (1209 ha) area Sub-DAS Re-01 didominasi oleh agroforestri dan 26% (781 ha) didominasi oleh hortikultura. Tren perubahan tutupan lahan yang paling signifikan adalah peningkatan area agroforestri tahun 2010, walaupun kembali mengalami penurunan pada tahun 2015. Gambar 13 menunjukkan lokasi Sub-DAS Re-01 di DAS Rejoso dan persentase tutupan lahan pada tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015.



Gambar 13. Lokasi Sub-DAS Re-01 di DAS Rejoso (kiri) dan persentase tutupan lahan di Sub-DAS Re-01 tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015

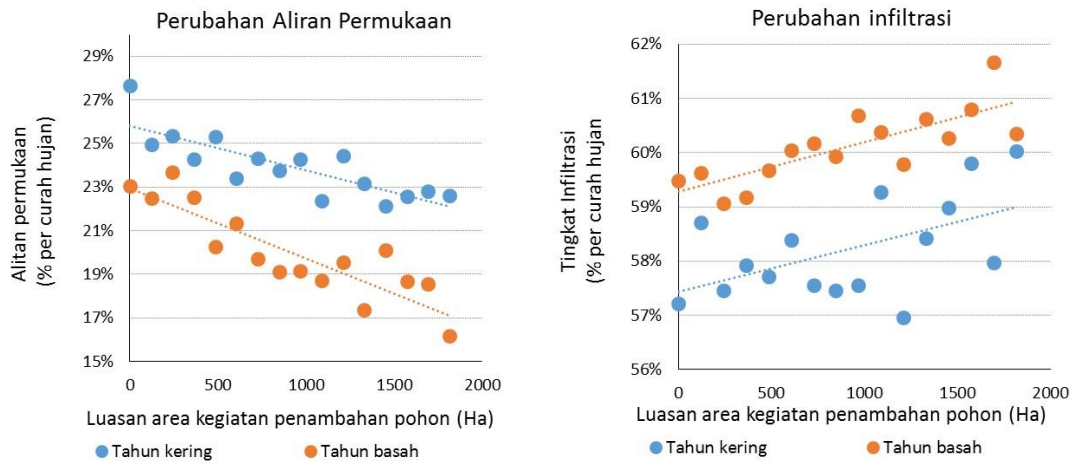
Berdasarkan hasil simulasi GenRiver, peningkatan area agroforestri dan cemara pada tahun 2010 menyebabkan penurunan aliran permukaan dan peningkatan aliran bawah permukaan dan aliran dasar yang cukup signifikan (Gambar 14). Namun karena tahun 2015 area agroforestri kembali mengalami penurunan luas area maka aliran permukaan kembali meningkat dan aliran bawah permukaan serta aliran dasar kembali menurun.



Gambar 14. Tren perubahan neraca aliran di Sub-DAS Re-01 tahun 1990-2030

Kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura diprediksi akan menyebabkan penurunan aliran permukaan dan meningkatkan aliran bawah permukaan dan aliran dasar (Gambar 14). Kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura diperkirakan akan menurunkan aliran permukaan sebesar 5% pada tahun 2030. Sebaliknya, tanpa kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agoroforesy dan hortikultura, dan tetap terjadi peningkatan luasan hortikultura akan meningkatkan aliran permukaan dan menurunkan aliran bawah permukaan dan aliran dasar (Gambar 14).

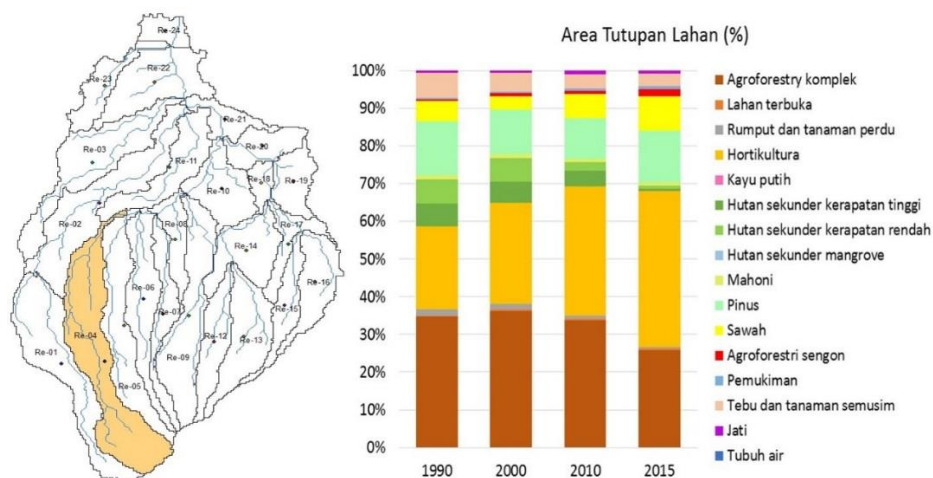
Analisis lebih lanjut terhadap hasil simulasi model GenRiver dilakukan untuk melihat dampak perluasan area kegiatan penambahan jumlah pohon terhadap laju penurunan aliran permukaan dan peningkatan infiltrasi. Hasil analisis (Gambar 15) menunjukkan bahwa setiap penambahan 500 ha area agroforestri/hortikultura yang dilakukan penambahan jumlah pohon akan mengurangi aliran permukaan sekitar 2% (dari curah hujan) dan meningkatkan infiltrasi sekitar 0.5% (dari curah hujan).



Gambar 15. Dampak perluasan area penambahan pohon terhadap perubahan aliran permukaan (kiri) dan infiltrasi (kanan) di Sub-DAS Re-01

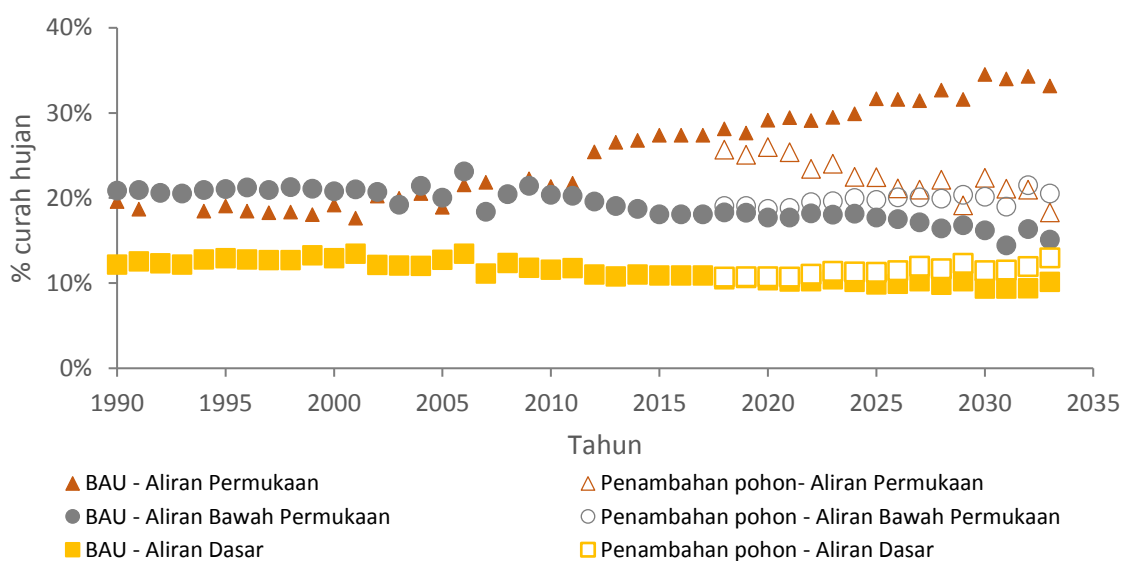
6.2 Sub-DAS Re-04

Sub-DAS Re-04 terletak di hulu DAS Rejoso dan memiliki luas 3996 ha. Berdasarkan hasil analisis tutupan lahan, pada tahun 1990, 35% area Sub-DAS Re-04 masih didominasi oleh agroforestri dan 22% area didominasi oleh hortikultura. Namun pada tahun 2015, area agroforestri berkurang menjadi 1097 ha (26%) dan area hortikultura mengalami peningkatan yang cukup besar menjadi 1648 ha (41%). Gambar 16 menunjukkan lokasi dan persentase perubahan tutupan lahan tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015 di Sub-DAS Re-04.



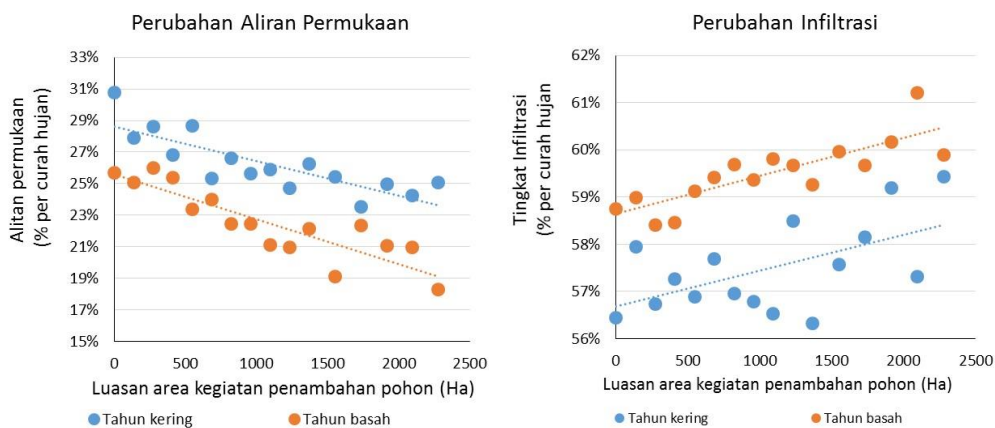
Gambar 16. Lokasi Sub-DAS Re-04 di DAS Rejoso (kiri) dan persentase tutupan lahan di Sub-DAS Re-04 tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015

Berdasarkan hasil simulasi model GenRiver (Gambar 17), terlihat adanya tren kenaikan aliran permukaan dan penurunan aliran bawah permukaan dan aliran dasar mulai tahun 2010. Hal ini disebabkan karena pada tahun 2015 terjadi penurunan area agroforestri dan peningkatan area hortikultura yang cukup signifikan. Simulasi kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura di Sub-DAS Re-04 terlihat memberikan dampak terhadap penurunan aliran permukaan dan peningkatan aliran bawah permukaan dan aliran dasar (Gambar 17). Kegiatan penambahan jumlah pohon di area agroforestri dan hortikultura di sub-DAS Re-04 diperkirakan hanya akan menyebabkan penurunan aliran permukaan sebesar 5% hingga pada tahun 2030. Sebaliknya, tanpa kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura, dan tetap terjadi peningkatan luasan hortikultura dan tanaman semusim lain akan meningkatkan aliran permukaan dan menurunkan aliran bawah permukaan dan aliran dasar (Gambar 17).



Gambar 17. Tren perubahan neraca aliran di Sub-DAS Re-04 tahun 1990-2030

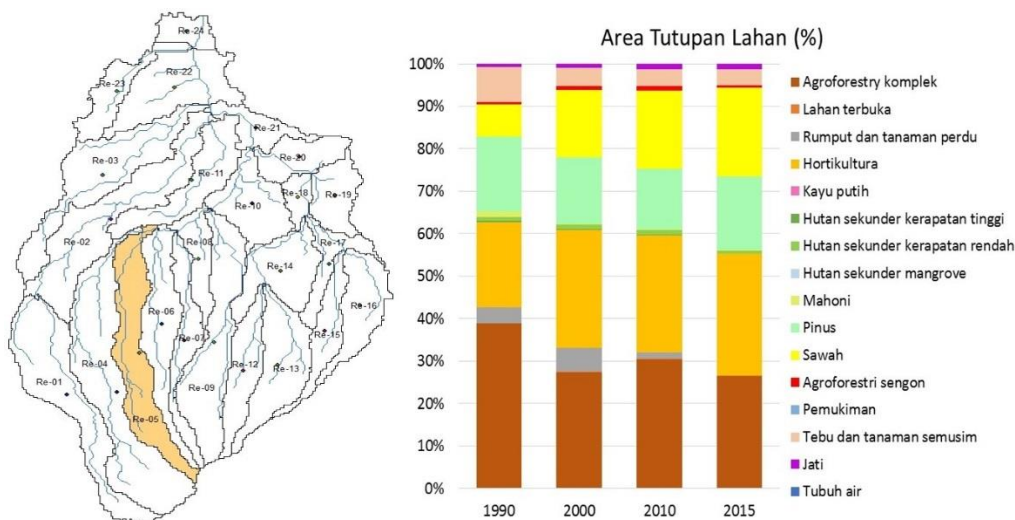
Hasil analisis lebih lanjut pada Gambar 18 menunjukkan bahwa setiap penambahan 500 ha area agroforestri/hortikultura yang dilakukan penambahan jumlah pohon akan mengurangi aliran permukaan sebesar 1.5% (dari curah hujan) dan meningkatkan infiltrasi sebesar 0.5% (dari curah hujan).



Gambar 18. Dampak perluasan area penambahan pohon terhadap perubahan aliran permukaan (kiri) dan infiltrasi (kanan) di Sub-DAS Re-04

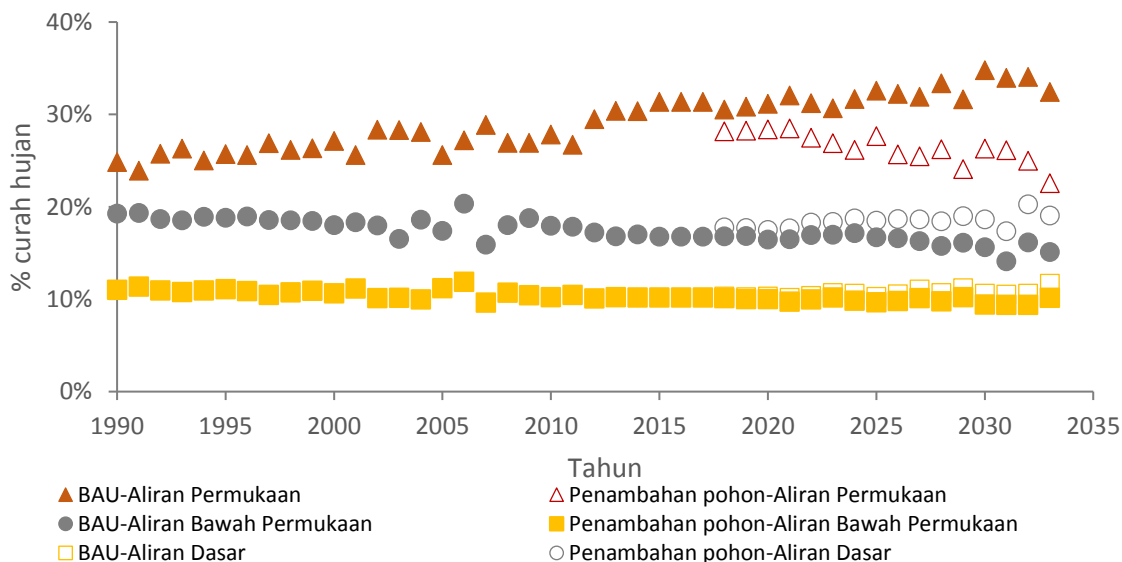
6.3 Sub-DAS Re-05

Sub-DAS Re-05 yang memiliki luas 2405 ha terletak di hulu DAS Rejoso. Berdasarkan hasil analisis tutupan lahan, pada tahun 1990, tutupan lahan di DAS Re-05 didominasi oleh area agroforestri yaitu sebesar 936 ha (38.9%) dan hortikultura sebesar 481 ha (19.9%). Namun pada tahun 2015, area agroforestri berkurang sebesar 12.3% menjadi 652 ha (28%) dan area hortikultura meningkat 8.7% menjadi 690 ha (29%). Selain itu area persawahan mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari 184 ha (7.6%) menjadi 499 ha (20.7%). Gambar 19 menunjukkan lokasi dan persentase area tutupan lahan tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015 di Sub-DAS Re-05.



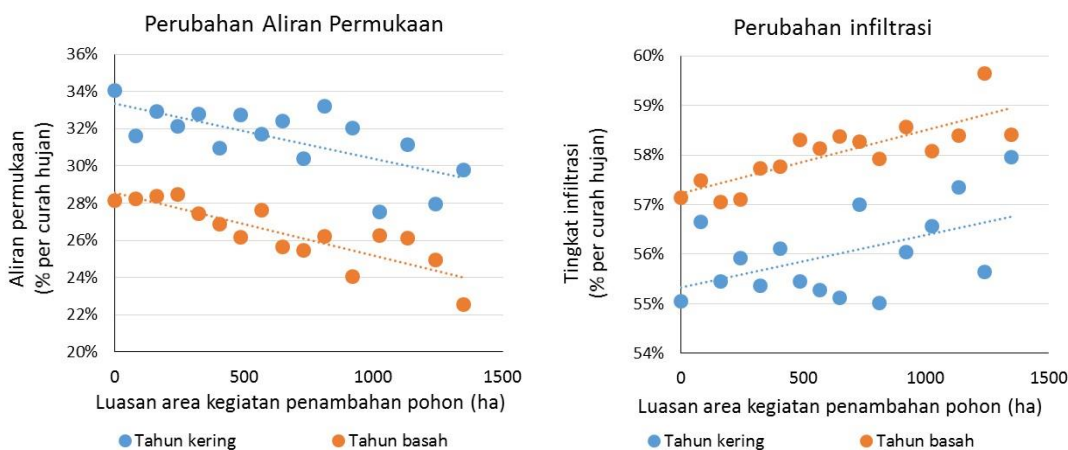
Gambar 19. Lokasi Sub-DAS Re-04 di DAS Rejoso (kiri) dan persentase tutupan lahan di Sub-DAS Re-05 tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015

Berdasarkan hasil simulasi GenRiver (Gambar 20), berkurangnya area agroforestri dan peningkatan area hortikultura dan persawahan dari tahun 1990-2015 telah menyebabkan peningkatan aliran permukaan dan penurunan aliran bawah permukaan dan aliran dasar. Kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura di Sub-DAS Re-05 berdampak pada penurunan aliran permukaan dan peningkatan aliran bawah permukaan, namun tidak terlalu berdampak ada aliran dasar (Gambar 20). Kegiatan penambahan jumlah pohon pada 652 ha (28%) area agroforestri dan 690 ha (29%) area hortikultura diperkirakan akan menurunkan aliran permukaan sebesar 5% pada tahun 2030. Sebaliknya, tanpa kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agoroforesy dan hortikultura, dan tetap terjadi peningkatan luasan tanaman semusim akan meningkatkan aliran permukaan dan menurunkan aliran bawah permukaan dan aliran dasar (Gambar 20).



Gambar 20. Tren perubahan neraca aliran di Sub-DAS Re-05 tahun 1990-2030

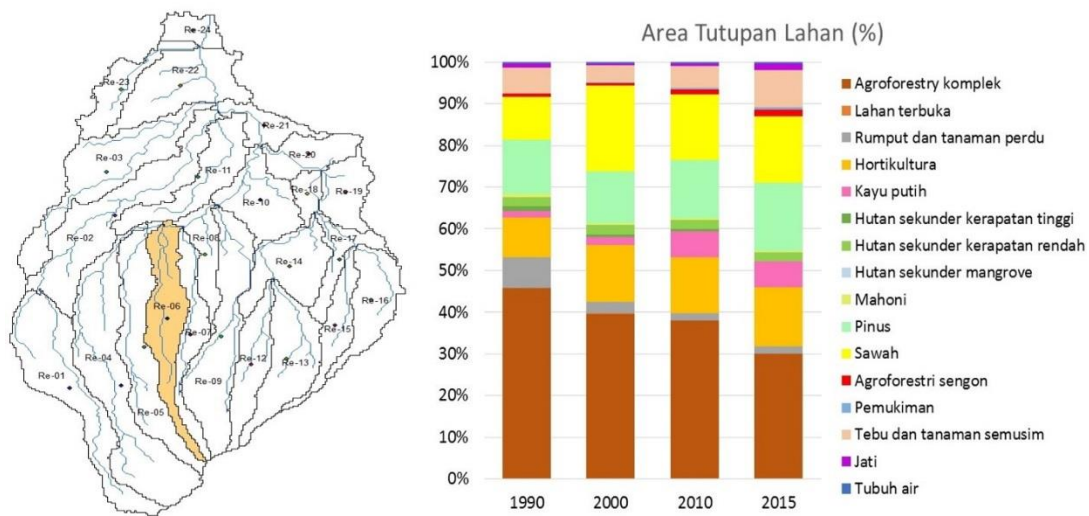
Hasil analisis lebih lanjut pada Gambar 21 menunjukkan bahwa setiap penambahan 500 ha area agroforestri/hortikultura yang dilakukan penambahan jumlah pohon akan mengurangi aliran permukaan sebesar 2% (dari curah hujan) dan meningkatkan infiltrasi sebesar 1% (dari curah hujan).



Gambar 21. Dampak perluasan area penambahan pohon terhadap perubahan aliran permukaan (kiri) dan infiltrasi (kanan) di Sub-DAS Re-05

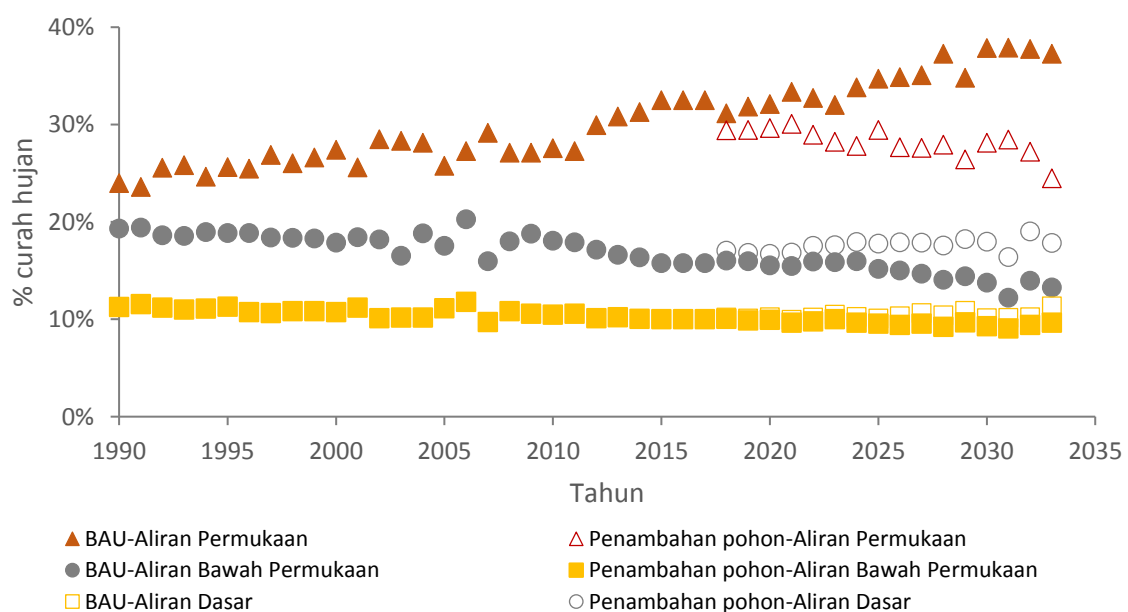
6.4 Sub-DAS Re-06

Sub-DAS Re-06 yang memiliki luas area 1919 ha terletak di hulu DAS Rejoso. Berdasarkan hasil analisis tutupan lahan, pada tahun 2015 sub-DAS Re-06 didominasi oleh agroforestri sebesar 576 (30%), hortikultura sebesar 272 (14%) dan sawah sebesar 307 ha (16%). Selama 25 tahun (1990-2015), perubahan tutupan lahan yang paling signifikan adalah berkurangnya area agroforestri dan padang rumput dan perdu sebesar 15.8% dan 5.8% dan meningkatnya area persawahan, hortikultura dan kayu putih sebesar 5.7%, 4.7% dan 4.8%. Gambar 22 menunjukkan lokasi dan persentase area tutupan lahan tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015 di Sub-DAS Re-06.



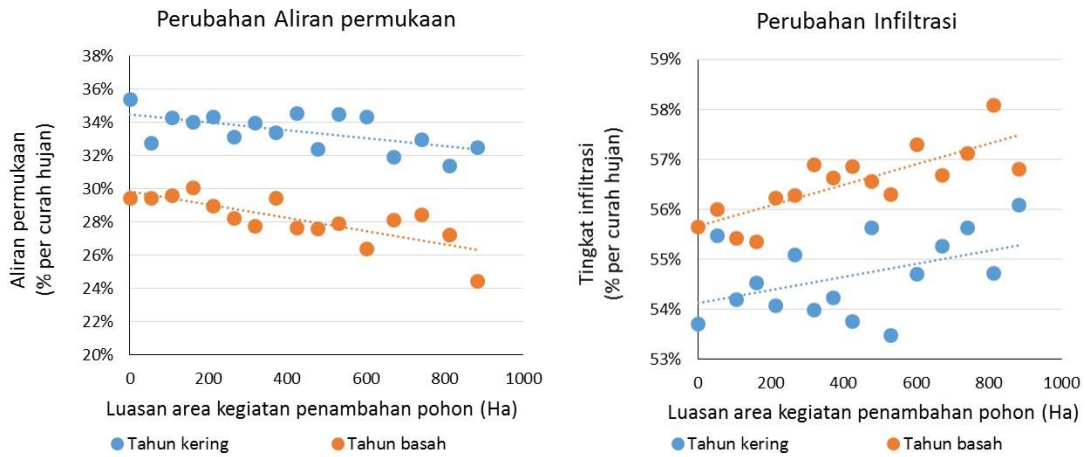
Gambar 22. Lokasi Sub-DAS Re-04 di DAS Rejoso (kiri) dan persentase tutupan lahan di Sub-DAS Re-06 tahun 1990, 2000, 2010 dan 2015

Berdasarkan hasil simulasi model GenRiver, penurunan area agroforestri dan peningkatan area persawahan dan hortikultura, dan kayu putih telah menyebabkan peningkatan aliran permukaan dan penurunan aliran bawah permukaan dan aliran dasar di sub-DAS Re-06 (Gambar 23). Kegiatan penambahan pohon di area agroforestri dan hortikultura di sub-DAS Re-06 berdampak pada penurunan aliran permukaan, namun tidak memberikan perubahan yang cukup signifikan pada aliran bawah permukaan dan aliran dasar (Gambar 23). Kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agroforestri dan hortikultura diprediksi akan menurunkan aliran permukaan sebesar 5% pada tahun 2030. Sebaliknya, tanpa kegiatan penambahan jumlah pohon pada area agoroforestry dan hortikultura, dan tetap terjadi peningkatan luasan tanaman semusim akan meningkatkan aliran permukaan dan menurunkan aliran bawah permukaan dan aliran dasar (Gambar 23).



Gambar 23. Tren perubahan neraca aliran di Sub-DAS Re-06 tahun 1990-2030

Hasil analisis lebih lanjut pada Gambar 24 menunjukkan bahwa setiap penambahan 500 ha area agroforestri/hortikultura yang dilakukan penambahan jumlah pohon akan mengurangi aliran permukaan sebesar 2% (dari curah hujan) dan meningkatkan infiltrasi sebesar 1% (dari curah hujan).



Gambar 24. Dampak perluasan area penambahan pohon terhadap perubahan aliran permukaan (kiri) dan infiltrasi (kanan) di Sub-DAS Re-06

7. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

7.1 Kesimpulan

Berkurangnya area hutan dan agroforestri dan meningkatnya area hortikultura, persawahan, kayu putih tebu dan tanaman semusim di DAS Rejoso tahun 1990-2015 menyebabkan peningkatan aliran permukaan dan penurunan aliran dasar dan aliran bawah permukaan pada tingkat DAS maupun sub-DAS

Pada tingkat DAS, kegiatan penambahan jumlah pohon di lahan agroforestri dan hortikultura dapat menurunkan aliran permukaan dan sedikit meningkatkan aliran bawah permukaan dan aliran dasar. Pada tingkat sub-DAS, penambahan jumlah pohon pada seluruh area agroforestri dan hortikultura dapat menurunkan aliran permukaan hingga 5%.

Semakin luas area agroforestri dan hortikultura yang dilakukan penambahan jumlah pohon akan meningkatkan infiltrasi dan menurunkan aliran permukaan. Setiap 500 ha area agroforestri dan hortikultura yang dilakukan penambahan akan meningkatkan infiltrasi sebanyak 0.5 – 1 % dan menurunkan aliran permukaan sekitar 1.5 - 2%.

7.2 Rekomendasi

Penambahan jumlah pohon sebaiknya dilakukan tidak hanya di lahan agroforestri dan hortikultura saja, namun juga area penggunaan lahan lain terutama di lahan terbuka. Konversi lahan berbasis kayu (perkebunan, agroforestri, hutan) menjadi lahan hortikultura, tanaman semusim, tebu dan persawahan sebaiknya tidak dilakukan karena akan semakin meningkatkan aliran permukaan dan mengurangi tingkat infiltrasi.

Teknik konservasi tanah dan air pada lahan pertanian, seperti rorak, teras, strip rumput dan kombinasinya dapat membantu memperbaiki kondisi DAS dan perlu dilakukan selain hanya menanam pohon. Selain itu, mempertahankan kondisi geologi unik berupa *rock outcrop* yang berlokasi di beberapa sub-DAS berperan penting dalam meningkatkan fungsi DAS.

DAFTAR PUSTAKA

- Khasanah N, Mulyoutami E, Ekadinata A, Asmawan T, Tanika L, Said Z, van Noordwijk M, Leimona B. 2011. A Study of Rapid Hydrological Appraisal in Krueng Peusangan Watershed, NAD, Sumatra. Working paper No. 123. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office.
- van Noordwijk M, Widodo RH, Farida A, Suyamto DA, Lusiana B, Tanika L, Khasanah N. 2011. GenRiver and FlowPer: Generic River Flow Persistence Models. User Manual Version 2.0. Bogor. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office. 119 p.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Karakteristik masing-masing tipe tutupan lahan

Tipe Tutupan Lahan	Intersepsi potensial (mm/hari)	Batas kekeringan relatif	BD/BD Ref
Agroforestri kompleks	3.0	0.60	0.95
Lahan terbuka	0.5	0.70	1.30
Rumput dan tanaman perdu	2.0	0.55	1.00
Hortikultura	2.5	0.70	1.00
Kebun kayu putih	1.5	0.70	1.10
Hutan sekunder kerapatan tinggi	3.5	0.45	0.80
Hutan sekunder kerapatan rendah	3.0	0.50	0.90
Hutan sekunder mangrove	3.0	0.60	1.00
Mahoni	2.5	0.60	1.00
Pinus	3.0	0.60	1.00
Sawah	2.0	0.80	1.13
Agroforestri sengon	2.0	0.55	1.10
Pemukiman	0.05	0.01	1.30
Tebu dan tanaman semusim	2.0	0.80	1.15
Jati	3.0	0.60	1.10
Tubuh air	0.0	1.00	1.30

Lampiran 2. Hasil parameterisasi model GenRiver

Nama Parameter	Keterangan	Nilai
RainInterceptDripRt	Tingkat intersepsi tetesan curah hujan	10 mm
RainMaxIntDripDur	Durasi intersepsi tetesan curah hujan	0.6 jam
InterceptEffectontrans	Pengaruh intersepsi curah hujan pada transpirasi	0.6 mm
RainIntensMean	Rata-rata intensitas curah hujan	25 mm/jam
RainIntensCoefVar	Koefisien variasi intensitas curah hujan	0.1
MaxInfRate*	Kapasitas maksimum infiltrasi per hari	850 mm/hari
MaxInfSubsoil	Kapasitas maksimum infiltrasi ke sub-tanah per hari	500 mm/hari
PerFracMultiplier	Fraksi pelepasan air tanah per hari	0.08
MaxDynGrWatStore	Kapasitas maksimum penyimpanan air tanah	300 mm
GWReleaseFracConst	Fraksi pelepasan aliran dasar	0.05
Tortuosity	Faktor bentuk DAS	0.5
Dispersal Factor	Kerapatan aliran	0.25
River Velocity	Kecepatan aliran	0.5 m/s

Keterangan: Nilai 'MaxInfRate' mengacu pada hasil pengukuran tingkat infiltrasi pada berbagai tipe tutupan lahan yang dilakukan oleh Universitas Brawijaya' dengan luas area sebagai pembobot.

Lampiran 3. Luas masing-masing Sub-DAS Rejoso dan jarak ke outlet akhir

Sub-DAS	Luas area (km ²)	Jarak Sub-DAS ke outlet akhir
RE-01	30.08	22.10
RE-02	32.14	16.20
RE-03	27.49	16.30
RE-04	39.95	36.20
RE-05	24.05	31.10
RE-06	19.49	28.90
RE-07	12.04	27.90
RE-08	8.82	21.60
RE-09	28.10	27.70
RE-10	15.88	19.40
RE-11	16.76	13.60
RE-12	13.12	32.10
RE-13	19.36	31.00
RE-14	16.65	25.40
RE-15	10.08	27.80
RE-16	14.20	27.90
RE-17	8.15	22.50
RE-18	4.16	17.30
RE-19	10.23	17.30
RE-20	10.07	14.30
RE-21	7.75	10.00
RE-22	21.73	6.00
RE-23	10.31	8.40
RE-24	4.72	-
TOTAL	405.04	-

