Aplikasi sistem informasi geografis untuk pemetaan kerentanan kuantitas mata air dan pengaruhnya terhadap budidaya kopi di Kecamatan Grabag, Kabupaten Magelang.

Cherlin Rian Rosalia[1], Muchlis[*2], and Arie Noor Rakhman[3]

1-2 Fakultas Sains dan Terapan Institut Sains & Teknologi AKPRIND
Jl. Kalisahak No 28, Kompl. Balapan, Yogyakarta 55222
cherlinrianrosaliaa@gmail.com; muchlis@akprind.ac.id

3 Fakultas Teknologi Mineral Institut Sains & Teknologi AKPRIND
Jl. Kalisahak No 28, Kompl. Balapan, Yogyakarta 55222
arie_rakhman@akprind.ac.id

Abstrak

Mata air di Kecamatan Grabag mengalami penurunan kuantitas air yang disebabkan pengambilan air dalam jumlah yang besar dari mata air oleh penduduk dan PDAM setempat sehingga dapat mengancam volume mata air yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerentanan kuantitas daerah mata air dan mengidentifikasi konservasi yang sesuai dalam pengelolaan mata air di daerah penelitian menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). Data yang digunakan adalah pengamatan data di lapangan dan laboratorium, berupa jenis tanah, morfometri, litologi penyusun, penggunaan lahan, vegetasi, debit air, akses dan penggunaan air. Daerah kerentanan mata air di daerah penelitian berklasifikasi kerentanan rendah – sedang. Daerah kerentanan rendah, berkelas kerentanan 2.0–2.6 tersebar di mata air Tuk Ngrancah, Tuk Tlogosari, Tuk Gedad, dan Tuk Tlogorejo. Daerah ini tersusun oleh endapan koluvial tanah regosol, bercurah hujan rendah (1750–2250 mm/tahun), berkemiringan lereng landai (9-15°), dan penggunaan lahannya sebagai kebun. Daerah klasifikasi sedang, berkelas kerentanan 2.7 – 3.3 tersebar di mata air Tuk Bleder, Tuk Mas Kalimas, Tuk Kembar, dan Tuk Udal. Daerah ini tersusun oleh endapan koluvial tanah latosol, bercurah hujan sedang (2250-2750 mm/tahun), berkemiringan lereng bergelombang (16-25°), dan penggunaan lahan sebagai kebun. Arahan teknik konservasi mata air berupa teknik konservasi agronomis dengan metode vegetatif. Penerapan metode ini pada mata air dengan klasifikasi kerentanan rendah berupa penggunaan bambu (*bambusa sp.*) sebagai tanaman penutup tanah. Tanaman kopi liberika (*coffea liberika*) bersama lamtoro (*leucaena leucochephala*) serta aren (*arenga pinnata*) diarahkan pada mata air dengan klasifikasi kerentanan sedang. Keberadaan lahan agrowisata melalui budidaya kopi menjadi arahan teknik konservasi agronomis di Kecamatan Grabag.

Kata Kunci sistem informasi geografis, kerentanan, konservasi, mata air, kopi.

Digital Object Identifier 10.36802/jnanaloka.2022.v3-no2-87-97

1 Pendahuluan

Daerah penelitian berada di Kecamatan Grabag, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Morfologi daerah penelitian berupa dan dataran dan perbukitan, bagian kaki

* Corresponding author.

© Cherlin Rian Rosalia, dkk.;
licensed under Creative Commons License CC-BY
Jurnal Open Access
Yayasan Lentera Dua Indonesia

Gunung Merbabu bagian barat laut. Bentukan asal vulkanik mempunyai potensi mata air yang baik mulai dari aspek jumlah, penyebaran baik kuantitas maupun kualitas yang sangat menguntungkan sebagai sumber penggunaan air [1]. Mata air di Kecamatan Grabag pada saat ini dimanfaatkan bagi penduduk sekitar dan PDAM yang dikelola oleh tiga pemerintahan, yaitu Kabupaten Magelang, Kota Magelang dan Kabupaten Temanggung [2]. Kondisi lingkungan mata air tersebut mengalami penurunan baik secara kualitas maupun kuantitas. Kerusakan lingkungan yang terjadi adalah mulai hilangnya tumbuhan penyimpan cadangan air, pendangkalan sungai akibat sampah dari aktivitas pembangunan dan pemanfaatan ruang disekitar mata air. Salah satu bentuk penyebab penurunan kuantitas air di lingkungan mata air adalah pengambilan air dalam jumlah yang besar dari mata air oleh pihak tertentu sehingga dapat mengancam volume mata air yang ada [2]. Pada musim kemarau hampir 23% wilayah Kecamatan Grabag mengalami kekeringan air bersih. Wilayah Kecamatan Grabag yang dilanda kekeringan adalah Desa Ketawang (Dusun Maron, Ngepoh, Pakel, Ketawang, Bawang, dan Peting), Desa Banaran (Ngandong, Posong, dan Ngaglik), Desa Kartoharjo, Pesidi, Salam, dan Pucungsari. Dari beberapa desa tersebut kondisi yang paling parah terdapat di Desa Banaran dan Desa Ketawang dikarenakan tidak ada sumber air yang bisa diambil dan mata air sumur menjadi kering [3].

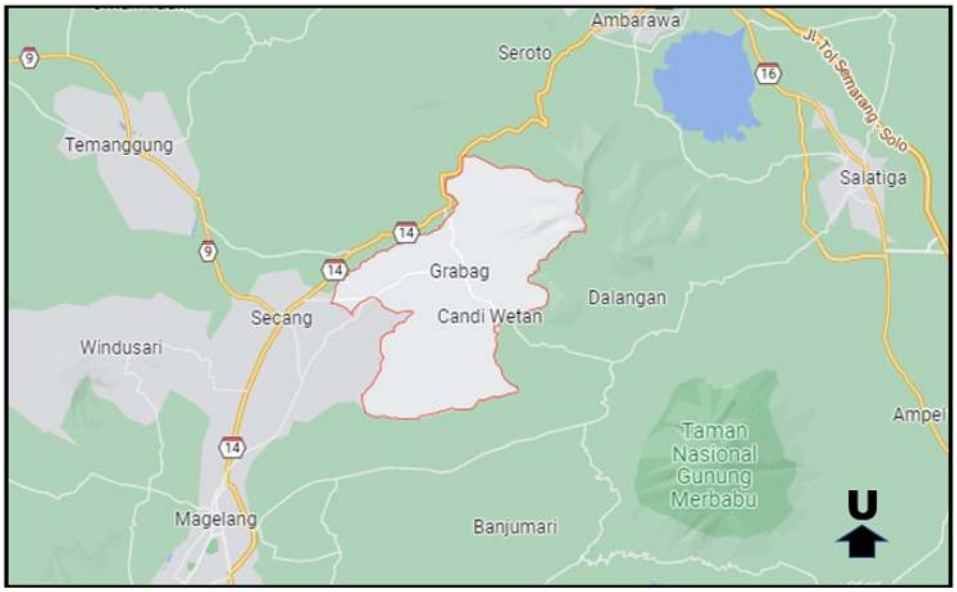
Konservasi sumber daya air adalah upaya memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat, dan fungsi sumber daya air agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya, baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang. Operasi dan pemeliharaan sumber daya air adalah kegiatan yang meliputi pengaturan, pelaksanaan, perawatan, pemantauan, dan evaluasi untuk menjamin keberadaan dan kelestarian fungsi serta manfaat sumber daya air dan prasarananya. Beberapa konservasi sumber daya air yang dapat dilakukan, antara lain: aktivitas yang mengatur perilaku pengguna air [4], aktivitas yang dilakukan dengan berbasis pemikiran kesadaran untuk mengubah perilaku pengguna air [5], dan perilaku mendaur-ulang air bagian dari faktor sosio-demografis [6]. Hasil konservasi memiliki implikasi yang signifikan bagi pembuat kebijakan. Pengetahuan dan pemahaman tentang masalah air di masyarakat merupakan elemen kunci dalam memecahkan masalah sumber daya air [7].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerentanan kuantitas daerah mata air dan mengidentifikasi konservasi yang sesuai dalam pengelolaan mata air di daerah penelitian. Penelitian menggunakan sistem informasi geografi (SIG) sebagai media pemantauan dan perawatan sumber daya air. SIG adalah suatu sistem informasi yang dirancang untuk bekerja dengan data yang bereferensi spasial atau berkoordinat geografi atau dengan kata lain SIG untuk mengintegrasikan data spasial dengan informasi lainnya. SIG dapat dipergunakan untuk menangani pekerjaan pengelolaan air tanah dengan variasi data spasial dan karakter air tanah [8], dimana dampaknya dapat berakibat pada sumber daya air baik air bawah permukaan maupun air permukaan [9].

2 Metodologi

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Grabag, Kabupaten Magelang. Secara geografis, penelitian mata air berada pada cakupan daerah pada posisi 7°19'34.38" - 7°26'6.66" lintang selatan dan 110°16'55.43" - 110°21'29.52" bujur timur. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Secara administratif, wilayah penelitian di Kecamatan Grabag terdapat 21 desa/kelurahan. Objek yang diteliti adalah kerentanan kuantitas di 8 mata air yaitu, Tuk Ngrancah, Tuk Tlogo, Tuk Bleder, Tuk Citrosono, Tuk Kembar, Tuk Mas Kalimas, Tuk Tlogorejo, dan Tuk Udal. Penelitian dilaksanakan pada awal musim kemarau pada bulan

Juli hingga Agustus 2022.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian.

Jenis data yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian adalah data sekunder dan data primer. Sumber data sekunder umumnya berasal dari penelitian lembaga pemerintah setempat [2],[10, 11, 12]. Pengumpulan data primer dilakukan untuk memperkaya data dengan kondisi terkini. Data tersebut disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Data sekunder yang digunakan dalam penelitian

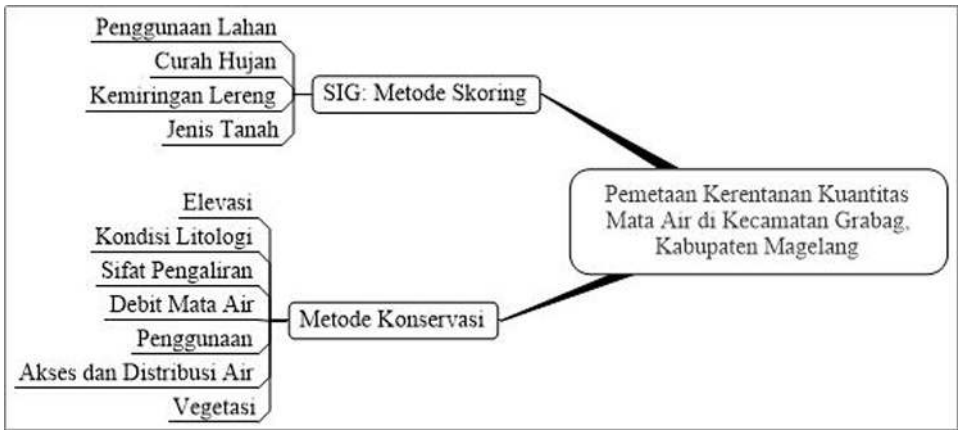
Bahan penelitian	Sumber data sekuncer
Peta curah hujan	Badan Pusat Statistik Kab. Magelang (2021)
Peta kemiringan lereng	Badan Pusat Statistik Kab. Magelang (2021) dan DEM Nasional, Badan Informasi Geospasial (2018)
Peta penggunaan lahan	Badan Pusat Statistik Kabupaten Magelang (2021) dan Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 Lembar 1408-523 Grabag (1999)
Debit mata air	Badan Pusat Statistik Kab. Magelang (2021) dan Dinas Lingkungan Hidup Kab. Magelang (2021)

Tabel 2 Data primer yang digunakan dalam penelitian

Jenis tanah	Pendeskripsian kondisi tanah
Morfometri	Pengukuran elevasi dan kemiringan lereng
Litologi penyusun	Pendeskripsian batuan
Penggunaan lahan	Pendeskripsian penggunaan lahan
Debit, akses dan penggunaan air	Pendeskripsian kondisi keairan
Vegetasi	Pendeskripsian variasi dan kerapatan vegetasi

Masing-masing data merupakan bagian dari pelaksanaan kerangka penelitian. Data dikelompokan atas metode analisisnya untuk memudahkan proses sintesa data hingga dapat

diperoleh hasilnya berupa pemetaan kerentanan kuantitas mata air di daerah penelitian. Peta tematik kerentanan kuantitas mata air berupa: peta kemiringan lereng, peta penggunaan lahan, peta jenis tanah, dan peta curah hujan. Berdasarkan keempat peta tersebut yang sudah ditumpuk dan diolah dengan menggunakan *software* Arcgis dan metode penilaian (skoring). Desain kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram kerangka penelitian.

Metode yang dipergunakan adalah metode skoring. Variabel yang digunakan antara lain: curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, dan penggunaan lahan. Masing – masing variabel dikelaskan dan diberi bobot sesuai pengaruhnya terhadap tingkat kerentanan kuantitas mata air, sehingga tiap variabel tersebut memiliki nilai dan bobot yang sesuai dengan pengaruhnya terhadap kerentanan kuantitas mata air. Pembobotan untuk setiap parameter kerentanan mata air masing – masing ditunjukkan dalam tabel 3 dan tabel 4.

Sebagai dasar penentuan kisaran kelas kerentanan, diawali dengan menghitung lebar interval untuk mengetahui jangkauan kisaran kelas dengan memakai persamaan 1. Dimana I = lebar interval. Setelah julat diketahui maka dibuat kelas kerentanan kuantitas mata air seperti pada Tabel 5.

$$I = \frac{\sum_{nilaimaksimal} - \sum_{nilaiminimal}}{banyaknyakelas} \tag{1}$$

3 Hasil dan pembahasan

Dari sisi kuantitas, tingkat curah hujan berperan penting dalam proses infiltrasi air ke dalam tanah. Semakin tinggi curah hujan dan durasi hujan, semakin besar jumlah air yang dapat meresap ke dalam tanah sehingga berpengaruh baik terhadap cadangan air tanah (skor 1). Sebaliknya, curah hujan yang semakin sedikit akan sedikit jumlah air yang meresap ke dalam tanah sehingga skor kerentanan terhadap kuantitas sangat tinggi (skor 5) [13]. Hasil analisis menunjukkan curah hujan pada daerah penelitian terbagi menjadi dua kelas yaitu: kelas rendah – sedang (Gambar 3).

Faktor kelerengan sangat berpengaruh besar terhadap kemampuan suatu lahan atau wilayah dalam meresapkan air, dimana suatu wilayah yang memiliki tingkat kemiringan lereng yang semakin besar atau curam maka semakin kecil dalam meresapkan jumlah air kedalam tanah [13]. Hasil analisis menunjukkan kemiringan lereng pada daerah penelitian

Tabel 3 Penilaian untuk setiap kelas parameter kerentanan kuantitas mata air

Kelas curah hujan (mm/tahun)	nilai
0 - 1750	5
1750 - 2250	4
2250 - 2750	3
2750 - 3250	2
Kelas kemiringan lereng (%)	nilai
< 8%	1
8 - 15 %	2
15 – 25 %	3
25 – 40 % 4	
Kelas jenis tanah	nilai
Alluvial	5
Latosol	4
Andosol	3
Litosol	2
Regosol	1
Kelas penggunaan lahan	nilai
Hutan	1
Kebun	2
Badan air	3
Ladang	4

Tabel 4 Pembobotan parameter kerentanan kuantitas mata air

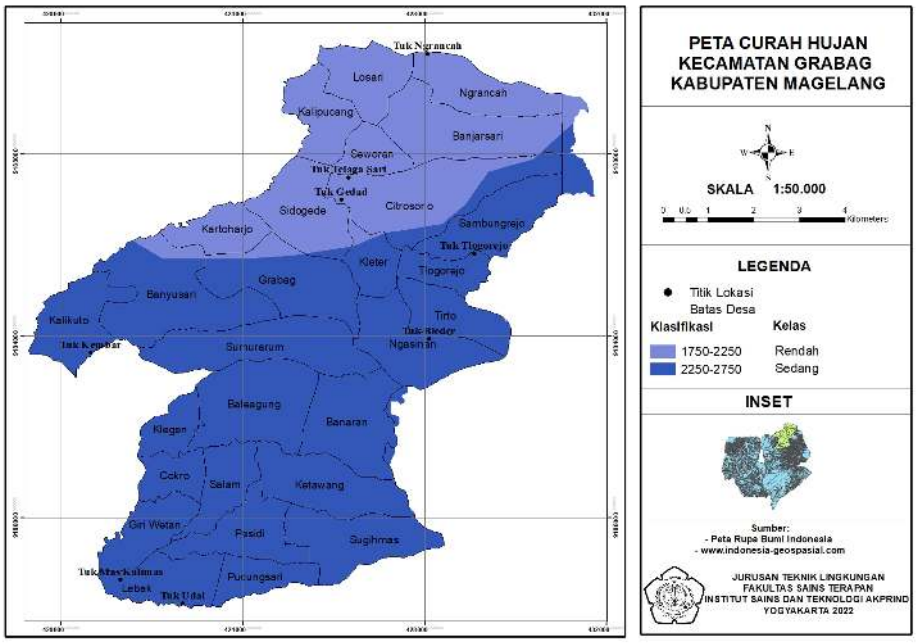
Penggunaan lahan	60
Kemiringan lereng	20
Curah hujan	10
Jenis tanah	10
Total	100

Tabel 5 Kelas kerentanan kuantitas mata air

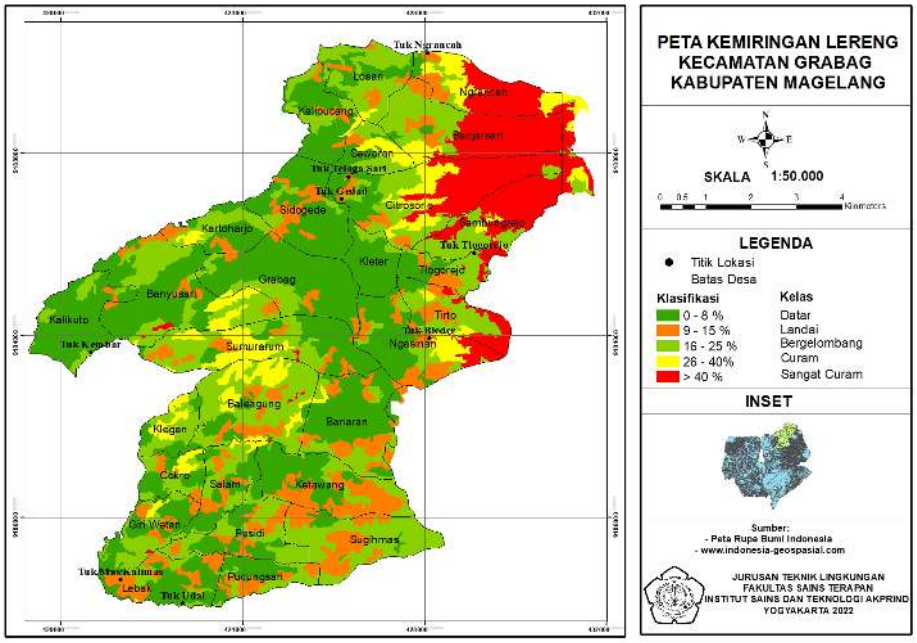
Nilai kelas skor	Tingkat kerentanan
1.2 – 1.8	Sangat Rendah
1.9 – 2.5	Rendah
2.6 – 3.2	Sedang
3.3 – 3.9	Tinggi
4.0 – 4.6	Sangat Tinggi

memiliki tingkat kemiringan lereng yang beragam, mulai dari datar sampai sangat curam yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Jenis tanah digunakan untuk mengetahui tekstur tanah sehingga dapat diketahui kemampuan tanah menyerap air serta kapasitas tersedia airnya. Semakin banyak tanah mampu menyimpan air, risiko terjadinya kekeringan semakin kecil, dan semakin sukar tanah dalam menyimpan air, risiko terjadinya kekeringan semakin besar [13]. Jenis tanah pada daerah penelitian berdasarkan dari hasil pengolahan peta tersusun oleh beberapa jenis tanah yaitu tanah regosol, dan tanah latosol (Gambar 5).

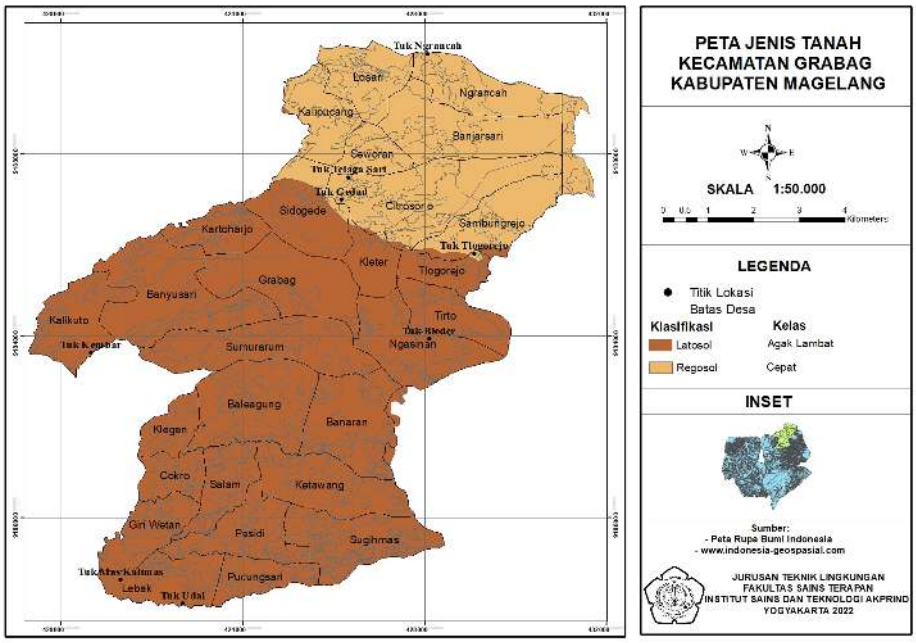


Gambar 3 Peta curah hujan Kecamatan Grabag.



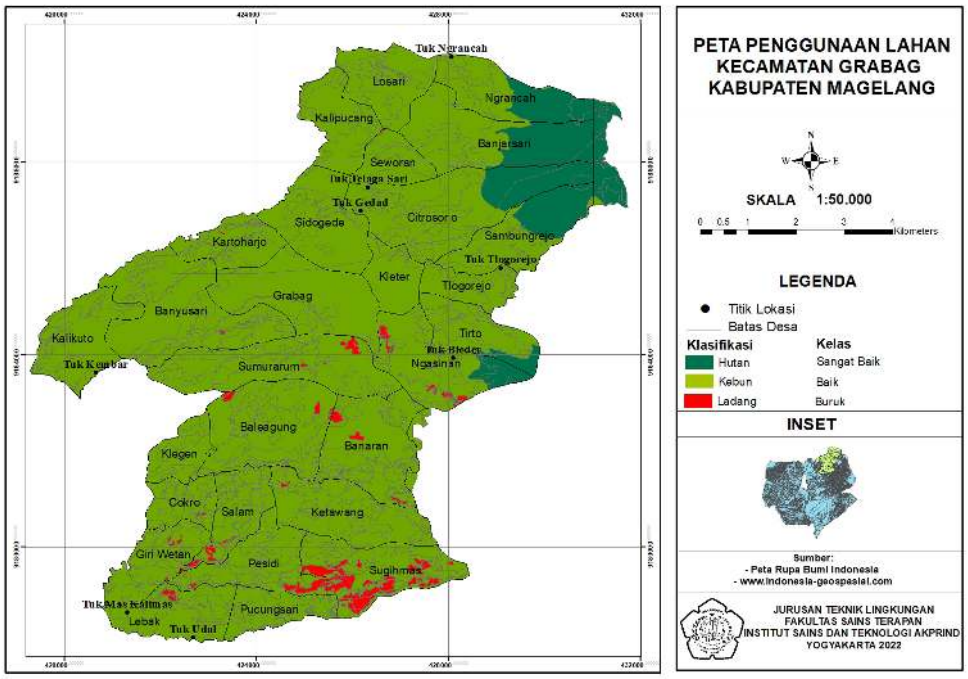
Gambar 4 Peta kemiringan lereng Kecamatan Grabag [14].

Semakin besar penggunaan lahan maka semakin kecil jumlah air yang kemungkinan dapat meresap. Dari berbagai penggunaan lahan di buat tingkatannya berdasarkan pengaruhnya terhadap resapan dan potensi kuantitasnya [13]. Penggunaan lahan pada daerah penelitian berdasarkan dari hasil pengolahan peta terbagi oleh beberapa jenis penggunaan lahan yaitu



Gambar 5 Peta jenis tanah Kecamatan Grabag [14].

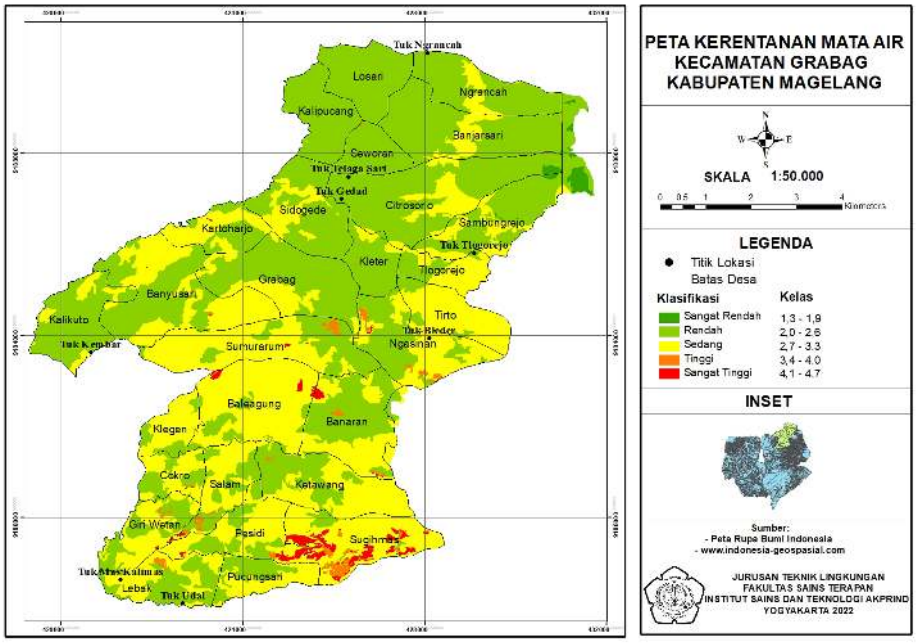
kebun, hutan dan ladang (Gamba 6).



Gambar 6 Peta penggunaan lahan Kecamatan Grabag [14].

Dari hasil pengolahan data SIG diperoleh peta tematik kerentanan mata air di daerah

Kecamatan Grabag, dimana terdapat beberapa kerentanan yaitu kerentanan sangat rendah – sangat tinggi (Gambar 7). Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa sebagian wilayah di Kecamatan Grabag memiliki klasifikasi rendah dengan kelas kerentanan 2.0–2.6 yang tersebar di mata air Tuk Ngrancah, Tuk Tlogosari, Tuk Gedad, dan Tuk Tlogorejo dikarenakan di lokasi penelitian tersebut tersusun endapan koluvial berjenis tanah regosol, curah hujan rendah (1750–2250 mm/tahun), kemiringan lereng landai (9-15°), dan penggunaan lahan sebagai kebun. Klasifikasi sedang dengan kelas kerentanan 2.7–3.3 tersebar di mata air Tuk Bleder, Tuk Mas Kalimas, Tuk Kembar, dan Tuk Udal bahwa dengan endapan koluvial berjenis tanah latosol, curah hujan sedang (2250-2750 mm/tahun), kemiringan lereng bergelombang (16- 25°), dan penggunaan lahan sebagai kebun.



Gambar 7 Peta kerentanan mata air Kecamatan Grabag [14].

Kondisi morfologi di daerah penelitian merupakan daerah yang subur, dibentuk oleh hasil aktivitas Gunung Merbabu dan pelapukannya [15]. Berdasarkan kondisi lingkungan di delapan lokasi pengamatan di Kecamatan Grabag maka dapat diusulkan upaya metode konservasi agronomis yaitu metode vegetatif dengan tanaman bambu, tanaman kopi dan pohon aren [16][17]. Daerah di sekitar Tuk Ngrancah, Tuk Tlogosari, Tuk Tlogorejo, dan Tuk Gedad memiliki ketinggian wilayah 496 - 800 mdpl, kemiringan lereng curam, curah hujan 2914 mm/tahun, dan jenis tanah regosol. Menurut Yani (2014), bambu yang ada di Indonesia umumnya ditemukan di dataran rendah hingga pegunungan dengan ketinggian antara 0- 2000 mdpl yang berarti bahwa tanaman bambu dapat tumbuh baik di dataran rendah maupun dataran tinggi [18]. Selain itu semua jenis tanah dapat ditumbuhi oleh bambu kecuali tanah-tanah yang terdapat di dekat pantai [19]. Bambu berkembangan dengan sebaran secara horisontal, sebagian besar pertumbuhannya terdistribusi secara acak dan tingkat pencampuran berdasarkan spesiesnya rendah. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor sifat kegaraman, jenis tanah, dan kelerengan medan [20]. Berdasarkan karakteristik lingkungannya, maka penanaman Bamboo sp. (bambu) dapat dilakukan di daerah tersebut.

Daerah di sekitar Tuk Bleder, Tuk Kembar, Tuk Mas Kalimas, dan Tuk Udal berada pada

ketinggian 600 - 800 mdpl dengan curah hujan 2417 mm/tahun. Vegetasi yang berkembang coffea liberika (kopi liberika). Ketinggian tempat untuk kopi Robusta, Arabika, dan Liberika bervariasi, masing-masing 100–600 mdpl, 1.000–2.000 mdpl, dan 0–900 mdpl [21]. Dalam beberapa dekade ke depan, perubahan iklim akan terus berlangsung. Kekeringan, kerentanan air dan penurunan kesuburan tanah merupakan dampak perubahan iklim yang dialami dalam budi daya kopi [22]. Kopi robusta mempunyai toleran terhadap kekeringan karena memiliki perakaran yang lebih lebat [23]. Upaya adaptasi dapat melalui penerapan teknik konservasi untuk meningkatan ketersediaan air bagi tanaman. Beberapa teknologi konservasi yang dapat diterapkan pada tanaman kopi berupa bahan alami yang mudah terurai seperti daun dan kulit kopi, seresah pangkasan tanaman kopi dan tanaman penaung [24][25]. Bahan tersebut berfungsi mengurangi evaporasi dan erosi, menjaga lengas tanah di sekitar perakaran, menambah kandungan bahan organik sehingga memperbaiki struktur dan tekstur tanah dan menekan pertumbuhan gulma, mengurangi evaporasi dan erosi [26][27].

Daerah di sekitar Tuk Bleder, Tuk Kembar, Tuk Mas Kalimas, Tuk Udal, Tuk Ngrancah, Tuk Tlogosari, Tuk Tlogorejo, dan Tuk Gedad berada pada ketinggian 600 - 800 mdpl dengan curah hujan yaitu 2417 mm/tahun. Pohon aren (Arenga pinnata) dapat dimanfaatkan dalam melestarikan alam dan mencegah bencana banjir dan erosi tanah [28]. Aren dapat tumbuh pada ketinggian 9 – 1.400 mdpl. Namun yang paling baik pertumbuhanya pada ketinggian 500 – 800 mdpl dengan curah hujan lebih dari 1.200 mm/tahun atau pada iklim sedang dan basah [29][30]. Secara umum tanaman aren tidak membutuhkan kondisi khusus sehingga dengan jenis tanah latosol dan regosol memungkinkan untuk ditanami pohon aren. Berdasarkan kondisi lingkungan di delapan lokasi pengamatan di Kecamatan Grabag tersebut maka diusulkan pohon aren dapat menjadi bagian konservasi agronomis.

Kabupaten Magelang sebagai salah satu penghasil kopi di Indonesia, mempunyai potensi untuk dikembang lebih lanjut. Sebagai gambaran, produksi kopi di Kabupaten Magelang pada tahun 2016 mencapai 1.381 ton dengan luas tanam meliputi tanaman produktif dan non produktif seluas 1.638 hektar. Kecamatan Grabag merupakan salah satu sentra produsen kopi di Kabupaten Magelang, telah dikembangkan sebagai agrowisata kopi. Kecamatan Grabag dengan luas tanamnya sebesar 248.000 hektar atau 57 persen dari keseluruhan luas tanam kopi di Kabupaten Magelang, serta produksinya sebesar 149.000 ton atau 84% dari keseluruhan total produksi kopi di Kabupaten Magelang [31].

4 Kesimpulan dan saran

Berdasarkan penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa kerentanan mata air didominasi klasifikasi kerentanan rendah – sedang. Klasifikasi rendah dengan kelas kerentanan 2.0 – 2.6 tersebar di empat mata air yaitu, mata air Tuk Ngrancah, Tuk Telogosari, Tuk Gedad, dan Tuk Tlogorejo. Klasifikasi sedang dengan kelas kerentanan 2.7 – 3.3 tersebar di empat mata air yaitu, Tuk Bleder, Tuk Mas Kalimas, Tuk Kembar, dan Tuk Udal. Konservasi yang bisa diterapkan dilokasi penelitian yaitu dengan konservasi agronomis metode vegetatif. Metode vegetatif yang diterapkan pada mata air Tuk Ngrancah, Tuk Tlogosari, Tuk Tlogorejo, dan Tuk Gedad berupa tanaman penutup tanah yaitu bambu (Bambusa sp.). Vegetasi lainnya yang diterapkan pada Tuk Bleder, Tuk Kembar, Tuk Mas Kalimas, dan Tuk Udal berupa tanaman kopi liberika (Coffea liberika) bersama lamtoro (Leucaena leucochephala) serta aren (Arenga pinnata). Lahan agrowisata kopi dapat menjadi prioritas dalam arahan teknik konservasi agronomis di Kecamatan Grabag. Agar upaya konservasi agronomis dapat lebih optimal dilakukan, maka penggunaan mata air perlu dikelola lebih baik, antara lain: mendayagunakan komunitas peduli mata air untuk kegiatan pemantauan dan pengukuran

debit air secara periodik, terutama pada mata air Tuk Ngrancah, Tuk Tlogo, Tuk Tlogorejo, Tuk Udal.

Pustaka

1 Sudarmadji, *Mata air: perspektif hidrologis dan lingkungan.* Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, 2013.

2 DLH, *Profiling Mata Air di Kabupaten Magelang Tahun Anggaran 2021.* Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Magelang, Indonesia, 2021.

3 M. Margono, E. Handayani, and R. Mareta, "Tanggap darurat bencana kekeringan di kecamatan grabag kabupaten magelang," *Community Empowerment*, vol. 4, no. 2, pp. 75–84, 2019.

4 M. C. Aprile and D. Fiorillo, "Water conservation behavior and environmental concerns: Evidence from a representative sample of italian individuals," *Journal of Cleaner Production*, vol. 159, pp. 119–129, 2017.

5 A. C. Worthington and M. Hoffman, "An empirical survey of residential water demand modelling," *Journal of economic surveys*, vol. 22, no. 5, pp. 842–871, 2008.

6 S. Dolnicar, A. Hurlimann, and B. Grün, "Water conservation behavior in australia," *Journal of environmental management*, vol. 105, pp. 44–52, 2012.

7 A. J. Dean, K. S. Fielding, and F. J. Newton, "Community knowledge about water: who has better knowledge and is this associated with water-related behaviors and support for water-related policies?" *PloS one*, vol. 11, no. 7, p. e0159063, 2016.

8 M. Dhanasekarapandian, S. Chandran, D. S. Devi, and V. Kumar, "Spatial and temporal variation of groundwater quality and its suitability for irrigation and drinking purpose using gis and wqi in an urban fringe," *Journal of African Earth Sciences*, vol. 124, pp. 270–288, 2016.

9 A. Oosting and D. Joy, "A gis-based model to assess the risk of on-site wastewater systems impacting groundwater and surface water resources," *Canadian Water Resources Journal/Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 36, no. 3, pp. 229–246, 2011.

10 B. K. Magelang, *Kabupaten Magelang Dalam Angka 2021.* Badan Pusat Statistik Kabupaten Magelang, 2021.

11 B. I. Geospasial. (2018) Demnas (digital elevation model nasional). Accessed: 23 Agustus 2022. [Online]. Available: https://tanahair.indonesia.go.id/demnas

12 Bakosurtanal, *Peta Rupabumi Digital Indonesia Lembar 1408-523 (Grabag).* Bogor, 1999.

13 A. Mulyana. (2021) Kajian kerentanan mata air dan rencana aksi mata air lotonglotong kabupaten bulukumba. provinsi sulawesi selatan. [Online]. Available: https://www.iuwashtangguh.or.id/cms/wp-content/uploads/2021/09/DOKUMEN-KKMARA-MA-LOTONGLOTONG-BULUKUMBA_FINAL-20210202TTD.pdf

14 C. R. Rosalia, *Pemetaan Kerentanan Kuantitas Mata Air dan Konservasinya di Kecamatan Grabag, Kabupaten Magelang Menggunakan Aplikasi SIG.* Institut Sains & Teknologi AKPRIND, 2022.

15 R. Thaden, S. H, and R. PW, *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa. Skala 1: 100.000.* Bandung, 1996.

16 A. Kumawat, D. Yadav, K. Samadharmam, and I. Rashmi, "Soil and water conservation measures for agricultural sustainability," *Soil moisture importance*, p. 23, 2020.

17 C. K. Gachene, S. O. Nyawade, and N. N. Karanja, "Soil and water conservation: An overview," *Zero Hunger*, pp. 810–823, 2020.

18 A. P. Yani, "Keanekaragaman bambu dan manfaatnya di desa tabalagan bengkulu tengah," *Gradien*, vol. 10, no. 2, pp. 987–991, 2014.

19 A. T. Fauzi, M. IGB, and L. N. Aini, "Identifikasi potensi kawasan pengembangan budidaya tanaman bambu di kabupaten gunungkidul (studi kasus di kecamatan playen)," *Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah. Yogyakarta*, 2016.

20 M.-M. Zhang, S.-H. Fan, X.-R. Yan, Y.-Q. Zhou, and F.-Y. Guan, "Relationships between stand spatial structure characteristics and influencing factors of bamboo and broad-leaved mixed forest," *Journal of Forest Research*, vol. 25, no. 2, pp. 83–91, 2020.

21 Y. Ferry, H. Supriadi, and M. S. D. Ibrahim, "Teknologi budi daya tanaman kopi: Aplikasi pada perkebunan rakyat," 2015.

22 M. Syakir and E. Surmaini, "Perubahan iklim dalam konteks sistem produksi dan pengembangan kopi di indonesia," *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, vol. 36, no. 2, pp. 77–90, 2017.

23 A. Nur, "Dampak la nina terhadap produksi kopi robusta," *Studi kasus tahun basah Studi kasus tahun basah*, pp. 50–58, 1998.

24 F. Yuliasmara, "Strategi mitigasi perkebunan kopi menghadapi perubahan iklim," *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao*, vol. 28, no. 3, pp. 1–7, 2016.

25 Y. Sarvina, T. June, E. Surmaini, R. Nurmalina, S. S. Hadi, and I. P. S. D. Alam, "Strategi peningkatan produktivitas kopi serta adaptasi terhadap variabilitas dan perubahan iklim melalui kalender budidaya," *Jurnal Sumberdaya Lahan*, vol. 14, no. 2, pp. 65–78, 2020.

26 W. Fahmudin, "Petunjuk praktis konservasi tanah pertanian lahan kering," *Bogor: World Agroforestry Centre ICRAF Southeast Asia*, 2004.

27 T. Wahyudi, Pujiyanto, and Misnawi, *KOPI : Sejarah, Botani, Proses Produksi, Pengolahan, Produk Hilir Dan Sistem Kemitraan*. Yogyakarta Gadjah Mada University Press 2016, 2016.

28 E. Mulyanie and A. Romdani, "Pohon aren sebagai tanaman fungsi konservasi," *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, vol. 14, no. 2, pp. 11–17, 2018.

29 L. Sebayang, "Keragaan eksisting tanaman aren (arenga pinnata merr) di sumatera utara (peluang dan potensi pengembangannya)," *Jurnal Pertanian Tropik*, vol. 3, no. 2, pp. 133–138, 2016.

30 S. Rafi'i, *Meteorologi dan Klimatologi*. Bandung: Angkasa, 2010.

31 C. D. N. Viana, A. H. Al Rosyid, and A. S. Perdana, "Analisis daya saing komoditas kopi di kecamatan grabag, kabupaten magelang," *Jurnal REP (Riset Ekonomi Pembangunan)*, vol. 5, no. 1, pp. 14–24, 2020.