



LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT (LPPM) UNIVERSITAS BOJONEGORO

Sekretariat Panitia : Kantor Pusat UNIGORO, Jl. Lettu Suyitno No. 2 Telp (0353) 881984 – 885444 BOJONEGORO

SURAT PERJANJIAN KONTRAK PENELITIAN NOMOR : 085 / LPPM-LIT / UB / V / 2025

Pada Hari Ini Jum'at Tanggal Lima Belas Bulan Oktober Tahun Dua Ribu Dua Puluh Dua, yang bertanda tangan dibawah ini :

1. **Dr. LAILY AGUSTINA RAHMAWATI, S.Si., M.Sc.** selaku Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Bojonegoro, selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**.
2. **Dr. LAILY AGUSTINA RAHMAWATI, S.Si., M.Sc.** selaku Dosen Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro selaku Peneliti, selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

Kedua belah pihak menyatakan bersepakat untuk membuat perjanjian kontrak penelitian sebagai berikut :

Pasal 1 **Judul Penelitian**

PIHAK PERTAMA dalam jabatannya tersebut di atas, memberikan tugas kepada PIHAK KEDUA untuk melaksanakan penelitian yang berjudul:

“PENGUJIAN FILTRASI UNTUK PENINGKATAN KUALITAS AIR HUJAN PADA SISTEM INSTALASI PEMANEN AIR HUJAN SEBAGAI STRATEGI MEWUJUDKAN KETAHANAN AIR DI KABUPATEN BOJONEGORO”

Pasal 2 **Waktu dan Biaya Penelitian**

- (1) Waktu penelitian adalah 5 bulan, dari **16 Mei 2025 sampai dengan 12 September 2025**.
- (2) Biaya pelaksanaan penelitian ini dibebankan pada Anggaran Universitas Bojonegoro Tahun 2024/2025 dengan **nilai kontrak sebesar Rp. 5.000.000,- (Lima Juta Rupiah)**

Pasal 3 **Cara Pembayaran**

Pembayaran biaya penelitian diberikan sesuai dengan aturan dan tata cara yang telah ditetapkan dalam Pedoman Penelitian Universitas Bojonegoro, yaitu:

- (1) Tahap I sebesar 60% dari nilai kontrak yang diterimakan paling cepat dua minggu setelah surat perjanjian kontrak penelitian ini ditandatangani oleh kedua pihak melalui Bendahara Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Bojonegoro dengan bukti pencairan Tahap I berupa Proposal yang telah disetujui oleh LPPM dan Surat Keputusan Penerima Hibah Internal.
- (2) Tahap II sebesar 40% dari nilai kontrak yang diterimakan setelah PIHAK KEDUA menyelesaikan seluruh kewajiban pekerjaan penelitian yang dibuktikan dengan dokumen laporan penelitian dan bukti submit jurnal minimal **terakreditasi Sinta**.

Pasal 4

Keaslian Penelitian dan bebas dari ikatan dengan Pihak Lain

- (1) PIHAK KEDUA bertanggungjawab atas keaslian judul penelitian sebagaimana disebutkan dalam pasal 1 Surat Perjanjian Kontrak Penelitian ini (bukan duplikat/jiplakan/plagiat) dari penelitian orang lain.
- (2) PIHAK KEDUA menjamin bahwa judul penelitian tersebut bebas dari ikatan dengan pihak lain atau tidak sedang didanai oleh pihak lain.
- (3) Apabila di kemudian hari diketahui ketidakbenaran pernyataan ini, maka kontrak penelitian dinyatakan batal, dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana yang telah diterima.

Pasal 5

Monitoring Penelitian

- (1) PIHAK PERTAMA berhak untuk:
 - a. Melakukan pengawasan administrasi, monitoring, dan evaluasi terhadap pelaksanaan penelitian
 - b. Memberikan sanksi jika dalam pelaksanaan penelitian terjadi pelanggaran terhadap isi perjanjian oleh peneliti
 - c. Bentuk sanksi disesuaikan dengan tingkat pelanggaran yang dilakukan
- (2) Pemantauan kemajuan penelitian dilakukan oleh PIHAK PERTAMA.

Pasal 6

Laporan Kemajuan dan Laporan Akhir Penelitian

- (1) PIHAK KEDUA wajib menyerahkan Laporan Kemajuan kepada PIHAK PERTAMA **paling lambat tanggal 18 Juli 2025 atau tiga bulan setelah tanggal penandatanganan kontrak**.

- (2) Setelah Laporan Kemajuan disetujui oleh LPPM, PIHAK KEDUA wajib menyerahkan **Laporan Akhir dan bukti submit Jurnal minimal terakreditasi sinta paling lambat 12 September 2025.**
- (3) Berkas-berkas Laporan Akhir meliputi:
- Laporan lengkap penelitian sebanyak 3 (tiga) eksemplar dengan cover merah muda.
 - Salinan tautan jurnal, atau tangkapan gambar layar proses submit jurnal dan diletakkan di halaman paling belakang laporan.
- (4) Format laporan hasil penelitian sesuai dengan aturan-aturan yang telah ditetapkan pada surat Nomor: 007/LPPM/UB/III/2023 yang beralamatkan <https://www.unigoro.ac.id/lppm-lit-pkm/>.

Pasal 7 Sanksi

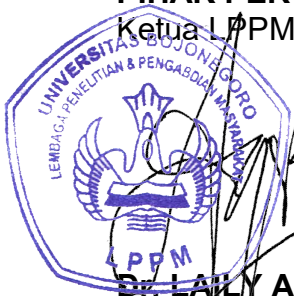
Segala kelalaian baik disengaja maupun tidak, sehingga menyebabkan keterlambatan menyerahkan laporan hasil akhir penelitian dengan batas waktu dalam pasal 2 yang telah ditentukan akan mendapatkan sanksi sebagai berikut.

- Apabila PIHAK KEDUA menyerahkan Laporan Kemajuan tetapi tidak menyerahkan Laporan Akhir dan bukti submit jurnal maka PIHAK KEDUA wajib mengembalikan 60% dana penelitian yang telah diterima.
- Apabila PIHAK KEDUA tidak menyerahkan Laporan Kemajuan dan tidak menyerahkan Laporan Akhir serta bukti submit jurnal maka PIHAK KEDUA akan diberikan sanksi denda sebesar nilai kontrak sebagaimana tercantum pada Pasal 2 Ayat 2.

Pasal 8 Penutup

Perjanjian ini berlaku sejak ditandatangani dan disetujui oleh PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA.

PIHAK PERTAMA
Ketua LPPM Unigoro



Dr. LAILY AGUSTINA R, S.Si., M.Sc.
NIDN. 07 210886 01

PIHAK KEDUA
Peneliti

Dr. LAILY AGUSTINA R, S.Si., M.Sc.
NIDN. 07 121289 02

LAPORAN
PENELITIAN INTERNAL DOSEN
Program Studi Ilmu Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknik



**PENGUJIAN FILTRASI UNTUK PENINGKATAN KUALITAS AIR
HUJAN PADA SISTEM INSTALASI PEMANEN AIR HUJAN SEBAGAI
STRATEGI MEWUJUDKAN KETAHANAN AIR DI KABUPATEN
BOJONEGORO**

Ketua Peneliti:

Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.
Heri Mulyanti, S.Si., M.Sc
Efa Ranggata Dewi
Firstyan Deviena Citra Rahayu

Dibiayai oleh:

Universitas Bojonegoro

Periode Tahun Anggaran 2024/2025

UNIVERSITAS BOJONEGORO

2025

HALAMAN PENGESAHAN

PROPOSAL PENELITIAN PENDANAAN PERGURUAN TINGGI

1. **Judul Penelitian** : Pengujian Filtrasi Untuk Peningkatan Kualitas Air Hujan Pada Sistem Instalasi Pemanen Air Hujan Sebagai Strategi Mewujudkan Ketahanan Air Di Kabupaten Bojonegoro
2. **Tema Penelitian** : Teknologi Lingkungan dan Bioremediasi
3. **Ketua Peneliti**
 - a. Nama Peneliti : Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.
 - b. NIDN : 07 2108 8601
 - c. Program Studi : Ilmu Lingkungan
 - d. E-mail : Laily.tiyangalit@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : Ilmu Lingkungan
4. **Anggota Peneliti 1**
 - a. Nama Dosen : Heri Mulyanti, S.Si., M.Sc
 - b. NIDN : 07 2108 8601
 - c. Program Studi : Ilmu Lingkungan
 - d. E-mail : izzatafirdausa@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : Kualitas lingkungan
- Anggota Peneliti 2**
 - a. Nama Mahasiswa : Efa Ranggata Dewi
 - b. NIM : 222620110016
 - c. Program Studi : Teknik Industri
 - d. E-mail :
 - e. Bidang Keilmuan : Teknik Industri
- Anggota Peneliti 3**
 - a. Nama Mahasiswa : Firstyan Deviena Citra Rahayu
 - b. NIM : 22262011022
 - c. Program Studi : Teknik Industri
 - d. E-mail :
 - e. Bidang Keilmuan : Teknik Industri
5. **Jangka Waktu Penelitian** : 6 bulan
6. **Lokasi Penelitian** : Kabupaten Bojonegoro
7. **Dana Diusulkan** : Rp5.000.000,00

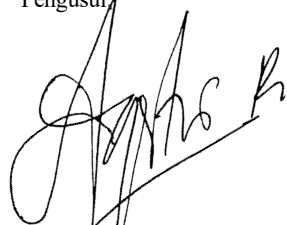
Bojonegoro, 10 September 2025

Mengetahui,
Ketua LPPM Universitas Bojonegoro



Dr. Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.
NIDN 07 2108 8601

Pengusul



Dr. Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.
NIDN. 07 2108 8601

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga proposal penelitian dengan judul "*Pengujian Filtrasi Untuk Peningkatan Kualitas Air Hujan Pada Sistem Instalasi Pemanen Air Hujan Sebagai Strategi Mewujudkan Ketahanan Air Di Kabupaten Bojonegoro*" dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Penelitian ini disusun sebagai upaya untuk mengkaji strategi yang tepat dalam mewujudkan ketahanan air di Kabupaten Bojonegoro melalui pendekatan yang terintegrasi antara aspek lingkungan, sosial, ekonomi, dan tata kelola sumber daya air.

Ketahanan air menjadi isu yang semakin penting untuk diperhatikan seiring meningkatnya kebutuhan air, perubahan iklim, degradasi lingkungan, serta tekanan terhadap sumber daya air akibat pertumbuhan penduduk dan aktivitas pembangunan. Kabupaten Bojonegoro sebagai daerah yang memiliki karakteristik wilayah rawan kekeringan pada musim kemarau, namun juga berpotensi mengalami banjir pada musim penghujan, membutuhkan strategi pengelolaan air yang berkelanjutan dan adaptif. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi eksisting sumber daya air, menganalisis tantangan yang dihadapi, serta merumuskan strategi yang dapat mendukung terciptanya ketahanan air di Kabupaten Bojonegoro.

Dalam proposal ini akan dijelaskan secara rinci mengenai metode penelitian yang digunakan untuk memperoleh data, teknik analisis yang dilakukan, serta hasil yang diharapkan dari penelitian. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan kebijakan dan perencanaan pengelolaan sumber daya air, serta menjadi referensi bagi pemerintah daerah, akademisi, maupun pihak terkait lainnya dalam mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan di Kabupaten Bojonegoro.

Penulis menyadari bahwa proposal penelitian ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan penelitian ini. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas perhatian dan dukungan yang diberikan, serta berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pengelolaan sumber daya air di masa mendatang.

Hormat saya,

Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc

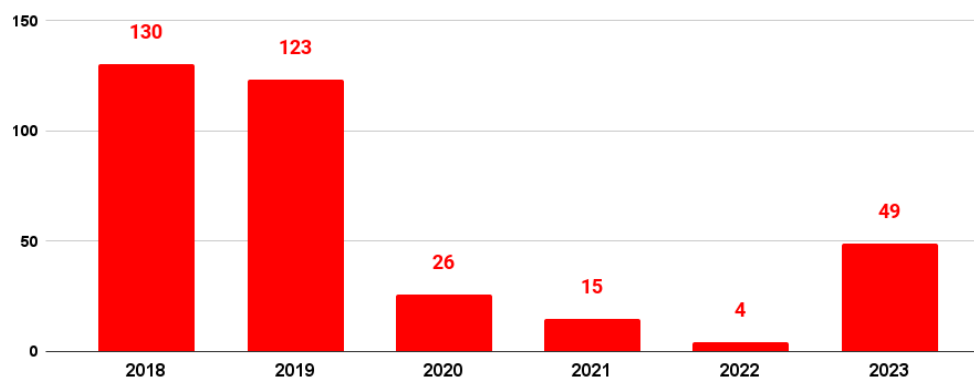
1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

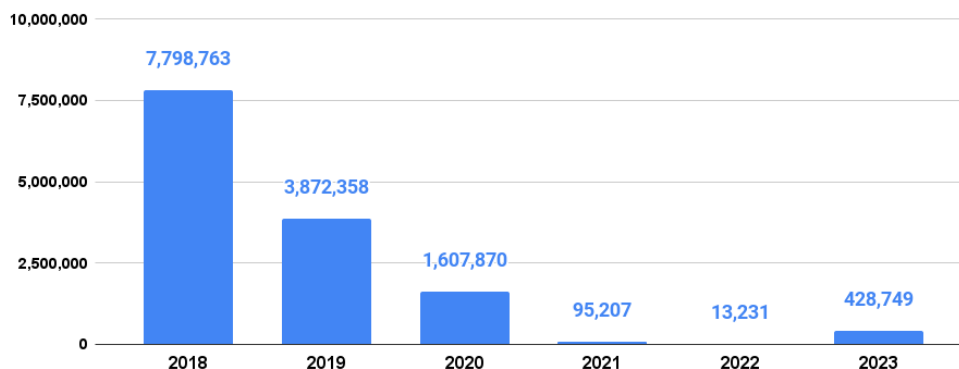
Ketahanan air di suatu wilayah akan sangat bergantung kepada keseimbangan neraca air di wilayah tersebut. Jumlah air yang digunakan, harus seimbang dengan jumlah air yang diresapkan ke tanah dan dipertahankan keberadaannya dalam aquifer. Jika jumlah air yang digunakan melebihi jumlah air yang dapat diserap oleh tanah, maka keseimbangan neraca air akan terganggu, dan menyebabkan munculnya bencana kekeringan dan banjir.

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan iklim tropis, menghadapi tantangan signifikan terkait ketersediaan air akibat variabilitas iklim dan fenomena cuaca ekstrem. Kekeringan merupakan salah satu bencana yang sering terjadi, terutama di wilayah seperti Pulau Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara.

Data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa Pulau Jawa mengalami fluktuasi kejadian kekeringan selama beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2018, tercatat 130 kejadian kekeringan (Gambar 1) dengan jumlah korban terdampak mencapai 7.798.763 jiwa (Gambar 2). Meskipun sempat menurun pada tahun-tahun berikutnya, pada tahun 2023 hingga bulan Agustus, jumlah kejadian kekeringan meningkat kembali menjadi 49 kejadian dengan 428.749 jiwa terdampak (BNPB, 2024). Sedang di Provinsi Jawa Timur, jumlah korban terdampak kekeringan pada bulan Agustus 2023 merupakan yang tertinggi, yaitu sebesar 223.272 jiwa. Kondisi kekeringan ini juga terjadi di kabupaten Bojonegoro.



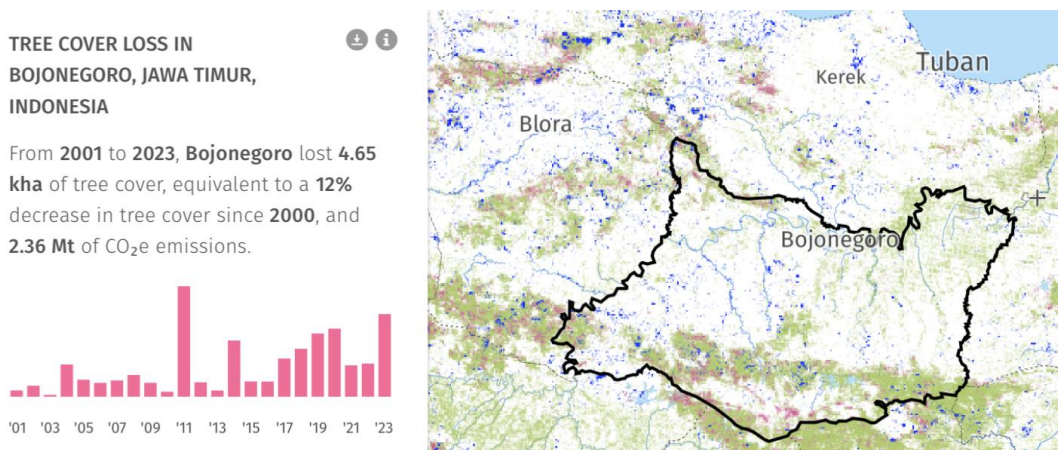
Gambar 1. Tren kejadian bencana kekeringan di Pulau Jawa (2018-2023*)



Gambar 2. Korban terdampak dan mengungsi akibat bencana kekeringan di Pulau Jawa (2018-2023*)

Kekeringan di Kabupaten Bojonegoro selama dua tahun terakhir terjadi di lebih dari 100 desa di 24 kecamatan (BPBD Bojonegoro, 2024). Kondisi tersebut lebih buruk jika dibandingkan dengan 2-3 tahun sebelumnya. Hal ini tentu menjadi masalah besar di Kabupaten Bojonegoro, mengingat air merupakan kebutuhan vital bagi masyarakat, terutama untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari.

Selain pengaruh iklim, meluasnya kekeringan di Kabupaten Bojonegoro juga disebabkan oleh menurunnya tutupan vegetasi akibat deforestasi. Data Global Forest Watch (GFW) tahun 2024 menunjukkan dari tahun 2001-2023 (Gambar 3), Bojonegoro kehilangan 4,65 kha tutupan pohon (setara 12%), atau ekuivalen dengan emisi CO₂e sebesar 2,36 Mt. Dibandingkan tahun 2022, terjadi kenaikan sebesar 2%. Bahkan di tahun 2023, kehilangan tutupan pohon melonjak 2 kali lipat dibanding 2022, yaitu 533 H. Kondisi ini tentu berdampak semakin buruk terhadap kenaikan suhu maupun ketahanan air di Kabupaten Bojonegoro. Berkurangnya tutupan vegetasi menyebabkan menurunnya infiltrasi air hujan ke dalam tanah, sehingga simpanan air tanah juga menurun. Menurunnya simpanan air tanah inilah yang menyebabkan kekeringan di berbagai tempat di dunia, termasuk di Kabupaten Bojonegoro.



Gambar 3. Tree Cover Loss di Kabupaten Bojonegoro (Global Forest Watch, 2024)

Kekeringan di Kabupaten Bojonegoro dapat dilihat dari meningkatnya ketergantungan masyarakat Kabupaten Bojonegoro terhadap air kemasan, sejumlah 57% di tahun 2023 (BPS,

2024). Nilai tersebut meningkat 8% dari tahun 2018, disertai dengan penurunan jumlah pengguna sumur pompa sebanyak 9%. Peralihan sumber air minum dari air sumur ke air kemasan, juga menjadi bukti tidak cukupnya ketersediaan air tanah bagi masyarakat Kabupaten Bojonegoro untuk kebutuhan hidup sehari-hari.

Dengan tingginya kejadian kekeringan, Indonesia, juga berpotensi memiliki curah hujan cukup tinggi, dengan rata-rata tahunan sekitar 2.000-4.000 mm, angka tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata curah hujan global. Curah hujan yang tinggi ini sangat berpotensi untuk dikelola sebagai sumber air bersih, dengan tetap memperhatikan syarat-syarat tertentu.

Akan tetapi, kondisi geografis yang berbeda, juga memiliki potensi curah hujan yang berbeda. Provinsi Jawa Timur misalnya, tahun 2023-2024, berdasarkan data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menunjukkan curah hujan hanya mencapai 501-2000 mm, yang artinya lebih rendah dari rata-rata di Indonesia. Hal tersebut salah satunya disebabkan karena peristiwa El Nino tahun 2023 yang membuat sebagian besar wilayah di Indonesia mengalami penurunan curah hujan yang sangat signifikan, bahkan hingga mengalami kekeringan ekstrim.

Curah hujan di wilayah Kabupaten Bojonegoro juga memiliki kondisi yang bervariasi dari waktu ke waktu. Bulan Desember hingga Maret, rata-rata curah hujan bulanan di Kabupaten Bojonegoro masuk kategori tinggi, namun di bulan lain, seperti Mei-Oktober, curah hujan rata-rata bulanan masuk kategori sangat rendah. Kondisi ini harus menjadi pertimbangan penting untuk pengelolaan air dalam mengatasi permasalahan kekeringan di Kabupaten Bojonegoro.

Selain potensi berupa hujan, Kabupaten Bojonegoro juga memiliki potensi sumber daya air lainnya, seperti keberadaan mata air, Cekungan Air Tanah (CAT), embung dan sumber air lainnya. Keseluruhan potensi ini harus dipetakan dengan baik untuk selanjutnya dikelola dan dijaga keberlanjutannya, demi mewujudkan ketahanan air di Kabupaten Bojonegoro.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang menjadi fokus kajian ini adalah upaya dalam mewujudkan ketahanan air untuk mengatasi bencana kekeringan di Kabupaten Bojonegoro. Terkait hal tersebut, beberapa pertanyaan yang muncul adalah:

- a. Bagaimanakah proyeksi kekeringan di Kabupaten Bojonegoro?
- b. Bagaimanakah potensi sumber daya air di Kabupaten Bojonegoro?
- c. Bagaimanakah pengelolaan sumber daya air di Kabupaten Bojonegoro?

1.3 Tujuan

Kajian ini bertujuan:

- a. Memproyeksikan kekeringan di Kabupaten Bojonegoro
- b. Menganalisis potensi sumber daya air di Kabupaten Bojonegoro
- c. Menyusun rekomendasi pengelolaan sumber daya air di Kabupaten Bojonegoro

2 Metode

2.1 Jenis Data

Kajian ini menggunakan data sekunder dan juga data primer. Data sekunder yang digunakan berupa: Data Badan Pusat Statistik (BPS), Data BMKG, Data BNPB, Data Citra Satelit, Data dari penelitian terdahulu, dan data-data lain yang relevan dengan fokus kajian.

Data primer yang digunakan dalam kajian ini adalah data kualitas air hujan, yang diperoleh berdasarkan hasil uji laboratorium.

2.2 Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel hanya dilakukan untuk pengujian kualitas air hujan yang merupakan salah satu sumberdaya air potensial yang akan dikelola di Kabupaten Bojonegoro.

Sampel air hujan diambil di 4 lokasi di Kabupaten Bojonegoro, yaitu wilayah timur (Desa Bakung-Kecamatan Kanor), wilayah kota (Desa Campurrejo-Kecamatan Bojonegoro, dan Kampus UNIGORO), dan wilayah barat (Desa Gayam-Kecamatan Gayam). Pada masing-masing titik Lokasi sampel diambil sampel sejumlah 500 ml untuk diuji parameter fisik dan kimianya sebagai sumber air bersih. Baku mutu yang digunakan adalah Permekes RI No.2 tahun 2023 dan Permenkes RI NO.32 tahun 2017.

Sampel air hujan yang berada di Kampus UNIGORO dikumpulkan sebanyak 10 liter. Sebanyak 1 liter diambil untuk pengujian kondisi awal di lab. Kesda dan 1 liter diujikan di lab. AKA MIGAS Cepu, selanjutnya 5 liter digunakan untuk menguji saringan/filter yang berbeda. Sehingga total sampel air hujan di kampus Unigoro yang digunakan berjumlah 7 liter.

2.3 Metode Perlakuan

Metode perlakuan sampel hanya dilakukan terhadap sampel air hujan. Air hujan yang dikumpulkan di Lokasi Kampus UNIGORO diuji untuk menentukan filter yang paling efektif. Dalam kajian ini digunakan 5 filter berbeda yang terdiri dari Spons hitam, Spons 8D, Bioball, Bioring cramic, dan mix (Spons hitam-Bioring cramic). Uji coba filter dalam kajian ini dilakukan karena berdasarkan hasil pengujian awal, kualitas air hujan di Kabupaten Bojonegoro mengandung Mangan dan Cadmium tinggi, melebihi baku mutu.

Pengujian filter air hujan dilakukan dengan menggunakan instalasi sederhana, berupa gallon bekas air mineral yang di potong menjadi 2 bagian. Bagian atas gallon dijadikan sebagai wadah air hujan yang akan di filter, dengan menempatkan filter pada bagian ujung gallon. Sedangkan bagian bawah galon difungsikan sebagai tampungan air bersih (Gambar 4).



Gambar 4. Instalasi sederhana filtrasi air hujan

Parameter fisika dan kimia yang diuji adalah sebagaimana Tabel 1. Dengan batas syarat maksimum kandungan pada air bersih mengacu Permekes RI No.2 tahun 2023 dan Permenkes RI NO.32 tahun 2017.

Tabel 1. Parameter Fisik-Kimia

No	Parameter	Satuan	Metode	Batas Syarat Max Air Bersih
A. Fisika				
1	Bau	#	Pancaindra	Tidak Berbau
2	Jumlah Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/l	Grafimetri	<300
3	Kekeruhan	NTU	Grafimetri	<3
4	Suhu	°C	Elektrometri	Suhu udara ± 3 °C
B. Kimia				
1	Amonium (NH ₄)	mg/l	Spektrofotometri	1
2	Besi (Fe)	mg/l	Spektrofotometri	0,2
3	Mangan (Mn)	#	Spektrofotometri	0,1

No	Parameter	Satuan	Metode	Batas Syarat Max Air Bersih
4	Seng (Zn)	mg/l	Spektrofotometri	3
5	Nitrit (NO ₂)	mg/l	Spektrofotometri	3
6	Sulfat (SO ₄)	mg/l	Spektrofotometri	400
7	pH	#	Elektrometri	6,5 - 8,5
8	Tembaga (Cu)	mg/l	Spektrofotometri	2
9	Cadmium (Cd)	mg/l	Spektrofotometri	0,005
10	Sisa khlor terlarut	mg/l	Spektrofotometri	0,2 - 0,5
11	Chlorida (Cl)	mg/l	Spektrofotometri	600

2.4 Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan dalam kajian ini adalah:

- Proyeksi kekeringan dianalisis menggunakan RCP 4.5 dan RCP8.5.
- Pemetaan sumber daya air dianalisis secara deskriptif dengan menggunakan data skunder dan primer.
- Rekomendasi pengelolaan sumber daya air di Kabupaten Bojonegoro dianalisis secara deskriptif dengan mengacu potensi sumber daya air dan juga ancaman kekeringan

3 Hasil

3.1 Pemetaan Kondisi Kekeringan di kabupaten Bojonegoro

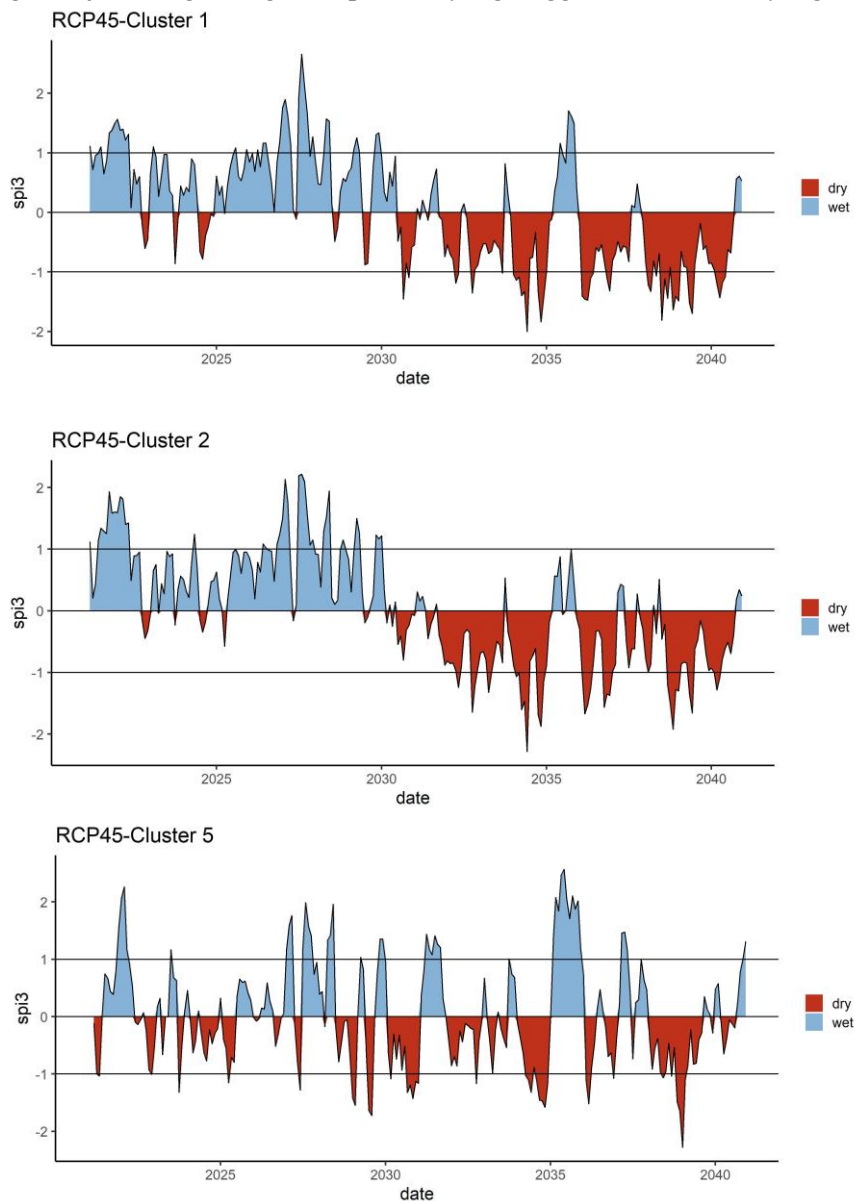
Data kekeringan di Kabupaten Bojonegoro dari tahun 2021 hingga 2024 menunjukkan peningkatan signifikan dalam jumlah desa terdampak. Pada 2021 dan 2022, kekeringan terbatas pada 8 kecamatan, namun pada 2023 dan 2024 meluas ke 24 kecamatan. Kecamatan yang terdampak sejak 2021 kemungkinan adalah wilayah dengan tingkat risiko kekeringan yang lebih tinggi, memerlukan intervensi mendesak.

Tabel 1. Data Kekeringan di kabupaten Bojonegoro (2021-2024)

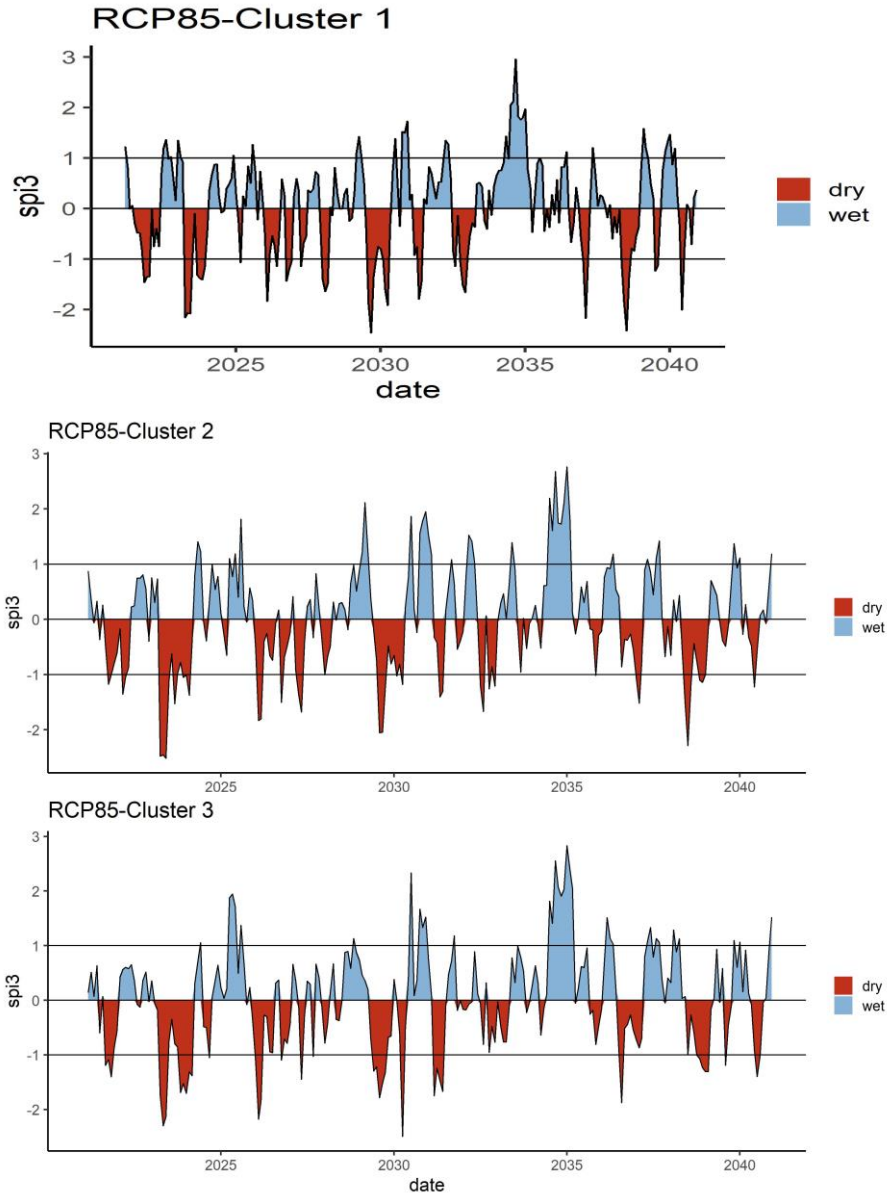
Tahun	Jumlah Terdampak	
	Desa	Kecamatan
2021	17	8
2022	19	8
2023	118	24
2024*	117	24

Jika didasarkan pada analisis proyeksi iklim dilakukan menggunakan RCP 4.5 dan RCP8.5. RCP 4.5 adalah suatu skenario peningkatan suhu pada kisaran 2-3oC pada 2100. Sementara itu, RCP8.5 merupakan skenario ekstrem dengan peningkatan suhu global mencapai 5oC. Gambar 8

memperlihatkan bagaimana tingkat kekeringan di Kabupaten Bojonegoro utara (CL 5) dan selatan (CL1 dan CL2) berdasarkan skenario iklim 4.5. Berdasarkan data tersebut, kekeringan lebih sering terjadi di bagian utara tetapi lebih parah untuk bagian selatan. Berdasarkan proyeksi tersebut, kekeringan menjadi sering dan parah mulai 2030 dengan tingkat kekeringan <1 deviasi. CL-5 yang merupakan Kabupaten Bojonegoro bagian utara mengalami kekeringan lebih sering tetapi tidak cukup kuat. Hal yang perlu diwaspadai adalah gambaran kekeringan yang terjadi dalam waktu lama antara 2030 hingga 2040. Sementara itu, dengan menggunakan proyeksi iklim RCP8.5, kekeringan terjadi dengan tingkat keparahan yang tinggi serta frekuensi yang cepat (Gambar 9).



Gambar 5. Proyeksi kekeringan 3-bulan (warna merah) untuk Kabupaten Bojonegoro bagian selatan (CL1 dan CL2) serta Kabupaten Bojonegoro bagian utara (CL5) berdasarkan RCP4.5



Gambar 6. Proyeksi kekeringan 3-bulan (warna merah) untuk Kabupaten Bojonegoro bagian selatan (CL1 dan CL2) serta Kabupaten Bojonegoro bagian utara (CL5) berdasarkan RCP8.5

3.2 Pemetaan Sumber Daya Air di kabupaten Bojonegoro

a. Pemetaan Potensi Air Hujan dan Kerentanannya

Kondisi curah hujan di Kabupaten Bojonegoro dalam 5 (lima) tahun terakhir menunjukkan pola yang cenderung menurun (Tabel 2). Setiap tahun pada bulan-bulan tertentu terdapat kondisi dimana rerata curah hujan bulannya adalah 0 mm, atau tidak terjadi hujan di bulan tersebut. Namun terdapat bulan yang curah hujan reratanya mencapai lebih dari 500 mm, atau masuk kategori sangat tinggi, akan tetapi kondisinya tidak merata di semua wilayah. Akan tetapi, jika dilihat dari kategori rerata curah hujan bulanan, dalam kurun waktu 2 tahun terakhir, didominasi bulan dengan kategori rerata curah hujan rendah. Hal ini berarti durasi musim kemarau dengan

curah hujan rendah di Kabupaten Bojonegoro tergolong cukup panjang. Sedangkan di kurun waktu itulah, kebutuhan air dengan sumber alternatif sangat dibutuhkan.

Potensi air hujan yang ditampung secara optimal selama musim hujan tentu dapat mengurangi resiko kekurangan air di musim kemarau. Namun hal ini hanya dapat berlaku ketika jumlah tampungan yang dimiliki oleh penduduk sangat besar. Berdasarkan Standart Nasional Indonesi (SNI), kebutuhan air bersih setiap orang dalam sehari dapat mencapai 60 liter. Dengan asumsi tersebut, maka kebutuhan air setiap orang di musim kemarau yang berlangsung setidaknya dalam waktu 5 bulan adalah sekitar 9000 l/ orang. Jika rata-rata satu rumah tangga terdiri dari 4 orang anggota keluarga, maka setidaknya setiap rumah harus menyediakan tampungan air hujan sebesar 36.000 liter. Tentu hal tersebut akan sulit dipenuhi.

Tabel 2. Rerata Curah Hujan Bulanan di Kabupaten Bojonegoro (2020-2024)

No	Bulan	Curah Hujan (mm)				
		2024	2023	2022	2021	2020
1	Januari	101-500	151-400	101-400	301->500	201-400
2	Februari	151->500	101-300	101-500	101-300	201->500
3	Maret	151-400	151-400	201-500	201-500	201-500
4	April	151-400	201-400	101-300	101-200	201-400
5	Mei	0-100	21-200	51-400	21-200	51-300
6	Juni	0-50	0-50	51-200	101-200	0-50
7	Juli	0-50	0-150	0-100	0-50	0-150
8	Agustus	0-50	0	21-100	0-150	21-100
9	September	21-200	0	21-100	21-150	0-150
10	Oktober	21-100	0-100	201-300	21-150	101-300
11	November	101-300	51-200	301-500	301->500	101->500
12	Desember	101-500	51-300	101-300	201-500	301->500
Curah Hujan Minimum		0	0	0	0	0
Curah Hujan Maksimum		>500	400	500	>500	>500
Jumlah Bulan Curah Hujan Rendah		6	7	3	5	4
Jumlah Bulan Curah hujan Menengah		1	2	4	2	2
Jumlah Bulan Curah Hujan Tinggi		5	3	5	5	6
Jumlah Bulan Curah hujan Sangat Tinggi		0	0	0	0	0

(Sumber: BMKG, 2024)

Meskipun jumlah air hujan melimpah di musim hujan, namun aspek kualitas air hujan juga harus diperhatikan. Potensi pencemaran air hujan sering terjadi akhir-akhir ini, akibat pengaruh

aktivitas manusia yang berkontribusi besar menghasilkan polutan. Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan tentang potensi pencemaran yang terjadi terhadap air hujan. Pengujian air hujan di beberapa wilayah dunia, menemukan terjadinya pencemaran air hujan oleh logam berat Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, dll. (Anabtawi et al. 2022; Chubaka et al. 2018; Hu et al. 2024; Malekei et al. 2024; Zeng et al. 2024), yang bersumber dari bahan atap rumah, tangki penyimpanan (Chubaka et al. 2018), debu jalan, dan aktivitas antropogenik (Anabtawi et al. 2022; Malekei et al. 2024).

Berdasarkan fakta tersebut, kajian ini juga melakukan pengujian kualitas air hujan di beberapa tempat di Kabupaten Bojonegoro dengan hasil sebagaimana Tabel 3. Berdasarkan hasil pengujian air hujan di 4 lokasi di Kabupaten Bojonegoro menunjukkan beberapa parameter terlampaui. Parameter Fisika yang terlampaui misalnya kekeruhan untuk sampel air hujan dari wilayah timur Kabupaten Bojonegoro (Ds. Bakung-Kanor), sedangkan sampel air hujan di lokasi lainnya masih sesuai dengan batas syarat air bersih. Untuk parameter Kimia yang terlampaui adalah Cadmium (Cd) pada sampel di seluruh wilayah, sisa Klor terlarut pada sampel di seluruh wilayah, Mangan (Mn) pada sampel dari seluruh wilayah kecuali Unigoro, Amonium (NH₄) pada sampel air hujan wilayah timur, serta pH pada sampel wilayah timur dan kota. Dengan tidak terpenuhinya batas syarat air bersih, berarti bahwa kualitas air hujan di Bojonegoro belum layak untuk digunakan sebagai sumber air bersih jika tidak diolah terlebih dahulu. Terlebih lagi terdapat kandungan logam berat berupa Cd dalam jumlah 2-15 kali lebih besar dari batas yang ditentukan.

Cadmium (Cd) merupakan jenis logam berat yang dianggap sebagai salah satu *potentially toxic elements (PTEs)* di atmosfer. Keberadaan PTEs, termasuk Cd, di atmosfer bersumber dari factor antropogenik, seperti pembakaran bahan bakar fosil, emisi kendaraan, dan pembakaran limbah rumah tangga (Zeng et al. 2024). Pada saat terjadi hujan, PTEs akan dibersihkan dari atmosfer dan terlarut bersama air hujan dan masuk ke ekosistem daratan dan perairan. Sehingga akan menjadi berbahaya jika air hujan digunakan langsung tanpa diolah terlebih dahulu. Cadmium tidak dapat terurai secara hayati dan terdapat di berbagai tingkat trofik dalam rantai makanan (Suhani et al. 2021), jika masuk ke dalam tubuh manusia akan bersifat karsinogenik (Haider et al. 2021) dan juga menyebabkan gangguan kesehatan lainnya (Zamora-Ledezma et al. 2021). Selain itu keberadaan Cd terlarut dalam air hujan dapat menjadi racun bagi organisme akuatik (Zeng et al. 2024).

Tabel 3. Hasil Pengujian Kualitas Air Hujan di Kabupaten Bojonegoro Tahun 2024

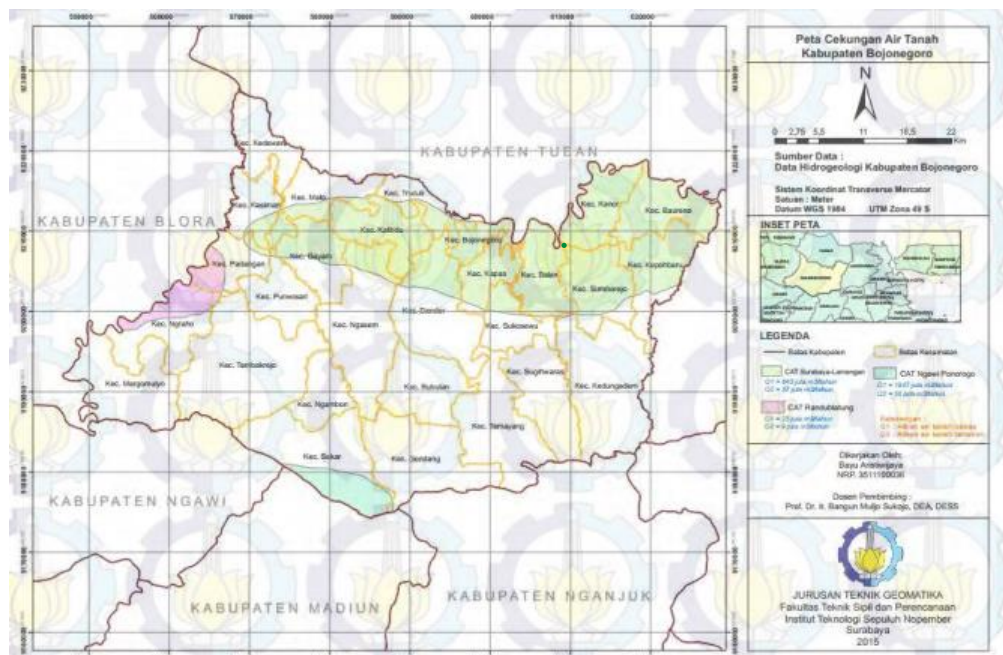
No	Parameter	Satuan	Metode	Batas Syarat Max Air Bersih	Hasil Pemeriksaan Fisik dan Kimia Air Hujan Sebelum Filtrasi			
					Wilayah Ds. Bakung-Kanor	Wilayah Ds. Gayam-Gayam	Wilayah Kota Ds. Campurejo-Bjn	UNIGORO
A. Fisika								
1	Bau	#	Pancaindra	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
2	Jumlah Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/l	Grafimetri	<300	90	10	30	20
3	Kekeruhan	NTU	Grafimetri	<3	*3,74	2,3	1,72	2,00
4	Suhu	°C	Elektrometri	Suhu udara ± 3 °C	28	28,4	28	24,4

No	Parameter	Satuan	Metode	Batas Syarat Max Air Bersih	Hasil Pemeriksaan Fisik dan Kimia Air Hujan Sebelum Filtrasi			
					Wilayah Ds. Bakung- Kanor	Wilayah Ds. Gayam- Gayam	Wilayah Kota Ds. Campurejo- Bjn	UNIGORO
B. Kimia								
1	Amonium (NH ₄)	mg/l	Spektrofotometri	1	*1,22	0,33	0,71	0,01
2	Besi (Fe)	mg/l	Spektrofotometri	0,2	0,05	0,04	0,08	*0,43
3	Mangan (Mn)	#	Spektrofotometri	0,1	*0,24	*0,33	*0,35	0,02
4	Seng (Zn)	mg/l	Spektrofotometri	3	1,71	0,24	0,71	0,42
5	Nitrit (NO ₂)	mg/l	Spektrofotometri	3	0,24	0,05	0,04	0,03
6	Sulfat (SO ₄)	mg/l	Spektrofotometri	400	10	11	16	30
7	pH	#	Elektrometri	6,5 - 8,5	*8,15	7,37	*8,57	7,60
8	Tembaga (Cu)	mg/l	Spektrofotometri	2	0,14	0,16	0,18	0,02
9	Cadmium (Cd)	mg/l	Spektrofotometri	0,005	*0,018	*0,077	*0,011	*0,016
10	Sisa khlor terlarut	mg/l	Spektrofotometri	0,2 - 0,5	*< 0,2	0,05	0,10	0,08
11	Chlorida (Cl)	mg/l	Spektrofotometri	600	13	12	11	21

Ket: : Melebihi/ tidak memenuhi batas syarat maksimal Air Bersih

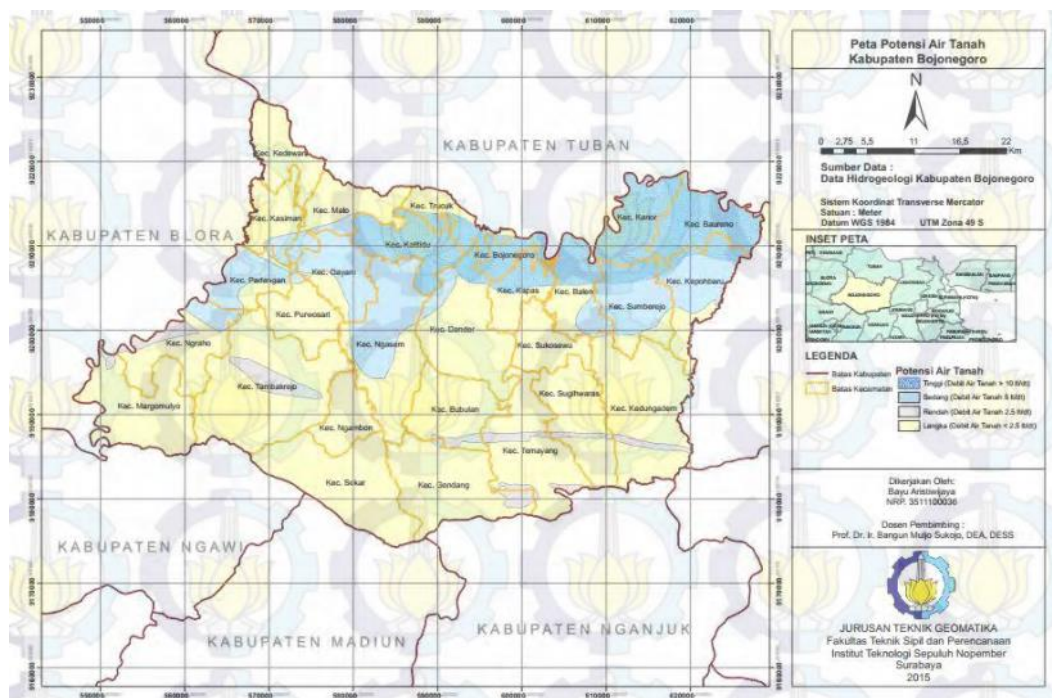
b. Potensi Cekungan Air Tanah di Kabupaten Bojonegoro dan Kerentanannya

Cekungan air tanah di Kabupaten Bojonegoro terletak sepanjang Bengawan Solo Bagian utara tetapi hanya sedikit sekali di bagian selatan. Adapun daerah tengah yang rawan kekeringan tidak terdapat cekungan air tanah. Wilayah ini didominasi batuan lempung dengan penyebaran akuifer tidak merata. Akan tetapi, terdapat beberapa mata air.



Gambar 7. Peta Cekungan Air Tanah di Kabupaten Bojonegoro. Sumber: Ariestiwijaya, 2015.

Gambar 7 memperjelas bagaimana potensi air tanah tinggi tersebar di bagian utara Kabupaten Bojonegoro. Bagian selatan Bojonegoro memiliki potensi air tanah langka dengan debit < 2,5 lt/detik. Bagian tengah dan selatan memiliki potensi berupa mata air yang tersebar pada jalur sesar. Meskipun demikian, debit dari mata air hanya pada kisaran 2,5 lt/detik.



Gambar 8. Potensi air tanah di Kabupaten Bojonegoro.

(Sumber: Aristiwijaya, 2015)

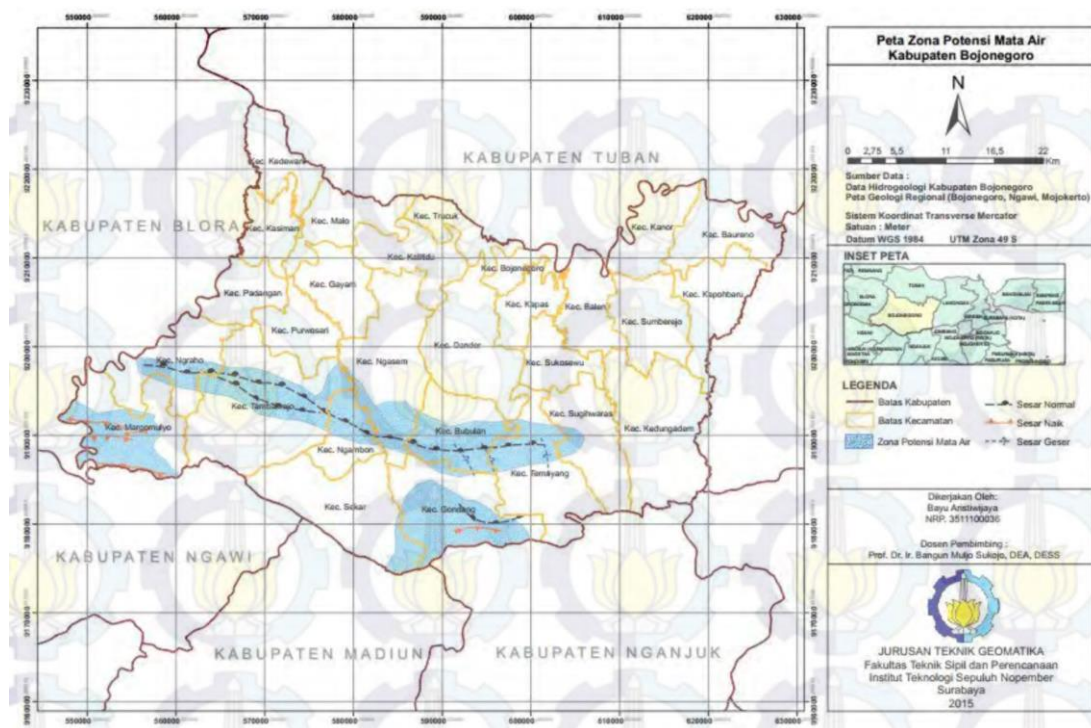
c. Potensi Mata Air di Kabupaten Bojonegoro dan Kerentanannya

Mata air adalah sumber air alami yang muncul ke permukaan bumi dari dalam tanah. Proses ini terjadi ketika air tanah, yang tersimpan dalam lapisan akuifer, mencapai permukaan melalui celah atau pori-pori di batuan akibat tekanan alami atau perbedaan ketinggian. Mata air dapat ditemukan di berbagai ekosistem, seperti pegunungan, lembah, atau area yang dekat dengan badan air lainnya.

Kabupaten Bojonegoro memiliki potensi sumber daya air berupa mata air besar, sedang dan kecil. Berdasarkan data dari Pemerintah Kabupaten Bojonegoro, mata air yang teridentifikasi saat ini ada 9 mata air yang tersebar di 6 kecamatan di Kabupaten Bojonegoro (Tabel 4). Meskipun demikian, berdasarkan informasi dari berbagai pihak, terdapat lebih banyak mata air yang berada di Kabupaten Bojonegoro, terutama di wilayah tengah (Gambar 7). Potensi keberadaan mata air dapat diidentifikasi dari keberadaan sesar maupun patahan yang memotong akuifer di wilayah Kabupaten Bojonegoro.

Tabel 4. Mata Air di Kabupaten Bojonegoro

No	Kecamatan	Desa	Jenis Mata Air
1	Dander	Ngunut	Mata Air Besar
2	Dander	Kunci	Mata Air Besar
3	Gondang	Sambongrejo	Mata Air Besar
4	Sekar	Klino	Mata Air sedang
5	Padangan	Kebonagung	Mata Air sedang
6	Padangan	Sonorejo	Mata Air sedang
7	Baureno	Gunungsari	Mata Air sedang
8	Padangan	Ngradin	Mata Air Kecil
9	Temayang	Kedungsari	Mata Air Kecil



Gambar 9. Peta Zona Potensi Mata Air di Kabupaten Bojonegoro
(Sumber: Aristiwijaya, 2015)

Potensi mata air di Kabupaten Bojonegoro pada Gambar 7, menunjukkan bahwa wilayah Tengah Kabupaten Bojonegoro terdapat sesar atau patahan yang memotong akuifer. Potensi mata air berada di daerah sekitar Sesar Normal, meliputi Kecamatan Temayang, Bubulan, Tambakrejo, Ngraho dan Gondang. Selain itu juga wilayah yang berada di sekitar Sesar Naik, yaitu Kecamatan Margomulyo (Aristiwijaya, 2015). Keberadaan dan kelestarian mata air di suatu wilayah sangat bergantung pada tutupan vegetasi di wilayah tersebut. Oleh karena

itu, potensi mata air di Kabupaten Bojonegoro harus terpetakan dengan baik untuk dijadikan dasar upaya konservasi mata air.

Upaya konservasi mata air sangat penting mengingat mata air memiliki kerentanan terutama akibat pengaruh factor antropogenik. Kerentanan mata air dapat disebabkan oleh eksploitasi berlebihan terhadap sumber mata air, seperti yang terjadi pada sumber Mata Air besar di Ngunut Dander oleh salah satu perusahaan besar air minum dalam kemasan. Pengambilan air yang tidak terkendali dapat mengurangi tekanan air di akuifer, menyebabkan mata air mengering. Selain itu juga kerentanan terhadap pencemaran, baik oleh limbah domestik, pertanian, atau industry. Kerentanan juga dapat terjadi akibat perubahan iklim, dimana penurunan curah hujan dan peningkatan suhu global dapat mengurangi pasokan air ke akuifer. Kerentanan penting lainnya adalah deforestasi, hilangnya vegetasi di sekitar area resapan air mengurangi kemampuan tanah untuk menyimpan dan mengalirkan air ke mata air.

d. Potensi Embung di Kabupaten Bojonegoro dan Kerentanannya

Embung, atau kolam penampung air, adalah struktur buatan yang dirancang untuk mengumpulkan dan menyimpan air hujan atau aliran permukaan, sehingga dapat dimanfaatkan selama musim kering atau saat kebutuhan air meningkat. Embung memiliki peran yang sangat

penting dalam upaya konservasi air, terutama di daerah dengan curah hujan musiman atau risiko kekeringan yang tinggi.

Dalam rentang waktu 2019-2023, Kabupaten Bojonegoro membangun total 548 embung, sehingga di tahun 2023 Kabupaten Bojonegoro total memiliki 1078 embung. Sebaran 548 embung yang dibangun dalam kurun waktu 5 tahun terakhir sebagaimana tercantum pada Tabel 5.

Tabel 5. Distribusi Embung di Kabupaten Bojonegoro berdasarkan Kecamatan (2019-2023)

No	Kecamatan	Jumlah Embung
1	Balen	27
2	Baureno	23
3	Bojonegoro	6
4	Bubulan	5
5	Dander	11
6	Gayam	2
7	Gondang	8
8	Kalitidu	15
9	Kanor	16
10	Kapas	10
11	Kasiman	16
12	Kedewan	4
13	Kedungadem	86
14	Kepohbaru	84
15	Malo	9
16	Margomulyo	2
17	Ngambon	3
18	Ngasem	27
19	Ngraho	15
20	Padangan	24
21	Purwosari	10
22	Sekar	17
23	Sugihwaras	36

No	Kecamatan	Jumlah Embung
24	Sukosewu	11
25	Sumberrejo	42
26	Tambakrejo	20
27	Temayang	11
28	Trucuk	8
Jumlah		548

Embung adalah salah satu solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam upaya konservasi air. Dengan fungsi yang multifungsi dari penyediaan air hingga pengendalian banjir, embung mendukung ketahanan air, keberlanjutan ekosistem, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, pembangunan dan pengelolaan embung yang baik harus menjadi prioritas dalam strategi pengelolaan sumber daya air di berbagai wilayah. Selain itu embung yang sudah dibangun harus dijaga dan dikelola dengan baik, agar dapat menjalankan fungsi dengan optimal dalam mendukung ketahanan air di Kabupaten Bojonegoro

3.3 Strategi pengelolaan sumber daya air di Kabupaten Bojonegoro dalam menjawab Isu Kekeringan

a. Pengelolaan sumber daya Air Hujan

Pengelolaan air hujan di Kabupaten Bojonegoro hingga saat ini belum optimal. Gebrakan program Wan-Nur untuk mengantisipasi kekeringan di wilayah Kabupaten Bojonegoro melalui Gerakan Memanen Air Hujan. Gerakan ini tentu sangat positif dalam memanfaatkan air hujan untuk mengurangi dampak kekurangan air di musim kemarau. Selain itu Gerakan memanen air hujan juga berdampak positif terhadap pengurangan air limpasan yang dapat menyebabkan banjir.

Program panen air hujan akan efektif ketika pemanfaatan air hujan tidak hanya difokuskan untuk manfaat jangka pendek saja, yaitu mencukupi kebutuhan air bersih. Karena kemampuan menampung air hujan yang dapat dilakukan Masyarakat sangat terbatas, baik terkait aspek ruang, maupun biaya. Pemanenan air hujan akan lebih bermanfaat jika hujan yang dipanen dapat diinjeksikan ke dalam tanah melalui penerapan sumur resapan. Manfaat dari upaya tersebut mungkin tidak bisa dirasakan langsung, namun harus menunggu 3-5 tahun ke depan. Upaya injeksi air hujan dalam tanah akan membantu proses recharge air tanah, sehingga simpanan air tanah meningkat. Upaya ini penting mengingat kemampuan infiltrasi tanah semakin menurun dari waktu-ke waktu, akibat intensifnya laju deforestasi hutan dan perubahan penggunaan lahan dari terbuka menjadi terbangun.

Pengelolaan air hujan sebagai air baku juga harus memperhatikan standar kualitas air yang ditetapkan oleh pemerintah, sebagaimana Permenkes RI No.2 Tahun 2023 dan Permenkes RI No. 32 Tahun 2017. Berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap kualitas air hujan di Kabupaten Bojonegoro, sebagaimana Tabel 3, diketahui bahwa air hujan di Kabupaten Bojonegoro terdapat parameter Fisika dan Kimia yang tidak sesuai dengan Batas Maksimal Air Bersih, misalnya untuk parameter Cd, Mn, dan Fe. Oleh sebab itu dalam pemanfaatannya butuh diolah terlebih dahulu, dengan memanfaatkan instalasi filtrasi air hujan sederhana, agar dapat mudah diadopsi oleh Masyarakat.

Terkait hal tersebut, UNIGORO telah melakukan pengujian terhadap beberapa filter untuk meningkatkan kualitas air hujan agar dapat menurunkan parameter yang melampaui ambang batas yang ditentukan. Beberapa filter yang diujicoba dalam kajian ini adalah:

- 1) Spons hitam
- 2) Spons 8D
- 3) Bioball
- 4) Bioring cramic
- 5) Mix (Spons hitam-Bioring Cramic)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan **filter Bioring Ceramic**, dapat **menurunkan Cadmium** dari 0,016 mg/l menjadi 0,007 mg/l. Filter lainnya belum mampu menurunkan kandungan Cadmium menjadi lebih rendah, bahkan filter spons hitam justru meningkatkan Cadmium menjadi 2x lipat dari kadar awal. Bioring Ceramic juga dapat menurunkan kandungan Fe dalam air hujan, namun meningkatkan jumlah zat padat terlarut (TDS). Hal tersebut dikarenakan bahan bioring dari material mengandung kapur yang apabila terkena air, kapur akan terlarut di dalam air. Hal tersebut juga yang menyebabkan nilai pH air hujan hasil filtrasi bioring cramic meningkat. Untuk menghindari kenaikan TDS yang bersumber dari bahan kapur bioring cramic, maka diupayakan memilih material bioring cramic yang lebih baik. Penggunaan filter spons berwarna hitam dan spons 8D tidak disarankan, karena justru menyebabkan kenaikan beberapa parameter. Penggunaan bioball juga terbukti kurang efektif untuk menurunkan kandungan Cadmium, namun dapat menurunkan Fe.



Gambar 8. Filter Bioring Cramic

Tabel 6. Hasil Uji Filtrasi Air Hujan

No	Parameter	Satuan	Metode	Batas Syarat Max Air Bersih	Wilayah Universitas Bojonegoro	Hasil Pemeriksaan Fisik dan Kimia Air Hujan Setelah Filtrasi				
						Bioring ceramic	Bioball	Spons Hitam	Spons 8D	Mix Bioring & Spons Hitam
A. Fisika										
1	Bau	#	Pancaindra	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
2	Jumlah Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/l	Grafimetri	<300	20	250	20	30	30	190
3	Kekeruhan	NTU	Grafimetri	<3	2,00	2,6	2,00	*4,18	*3,46	*3,44
4	Suhu	°C	Elektrometri	Suhu udara ± 3 °C	24,4	26,8	26,4	27,4	27,6	26,8
B. Kimia										
1	Amonium (NH ₄)	mg/l	Spektrofotometri	1	0,01	0,25	0,28	0,40	0,25	0,34
2	Besi (Fe)	mg/l	Spektrofotometri	0,2	*0,43	0,02	0,02	0,05	0,02	*0,19
3	Mangan (Mn)	#	Spektrofotometri	0,1	0,02	0,08	0,02	*0,11	0,04	0,04
4	Seng (Zn)	mg/l	Spektrofotometri	3	0,42	1,27	1,21	0,94	1,71	1,79
5	Nitrit (NO ₂)	mg/l	Spektrofotometri	3	0,03	0,06	0,06	0,05	0,05	0,07
6	Sulfat (SO ₄)	mg/l	Spektrofotometri	400	30	48	3	6	6	52
7	pH	#	Elektrometri	6,5 - 8,5	7,60	*9,15	7,90	8,34	7,97	8,33
8	Tembaga (Cu)	mg/l	Spektrofotometri	2	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
9	Cadmium (Cd)	mg/l	Spektrofotometri	0,005	*0,016	*0,007	*0,017	*0,030	*0,018	*0,026
10	Sisa khlor terlarut	mg/l	Spektrofotometri	0,2 - 0,5	0,08	0,06	0,08	*0,15	*0,93	0,07

11	Chlorida (Cl)	mg/l	Spektrofotometri	600	21	14,3	18	30	24	17,3
----	---------------	------	------------------	-----	----	------	----	----	----	------

Berdasarkan hasil kajian di atas, maka pengelolaan sumber daya air yang berupa air hujan di Kabupaten Bojonegoro adalah sebagai berikut:

No	Program	Kegiatan	Relevansi Program Wan-Nur
1	Panen Air Hujan (<i>Rainwater Harvesting (RWH)</i>)	Penyediaan Tangki Penampung Air Hujan: Menggunakan tangki atau wadah besar untuk menampung air hujan yang jatuh dari atap bangunan. Design instalasi pemanen air hujan harus sederhana sehingga dapat diadopsi Masyarakat dengan mudah dan cepat.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Pemilihan Filtrasi Air Hujan: Filtrasi yang digunakan menyesuaikan dengan jenis polutan yang terkandung di air hujan. Kandungan Cd, Mn, dan Fe pada air hujan di Kabupaten Bojonegoro melebihi baku mutu, sehingga jenis filtrasi harus mampu mengurangi kandungan ketiga jenis zat tersebut.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Sumur Resapan: Mengintegrasikan sumur resapan untuk mengarahkan air hujan ke dalam tanah guna mengisi kembali akuifer. Karena instalasi penyimpanan air hujan Masyarakat terbatas, maka kelebihan air hujan yang dipanen harus diinjeksi ke tanah melalui sumur resapan.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
2	Green Building	Green Roofs (Atap Hijau): Memanfaatkan tanaman pada atap bangunan untuk menyerap air hujan, mengurangi limpasan, dan	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana

No	Program	Kegiatan	Relevansi Program Wan-Nur
		menjaga kelembapan lingkungan.	
		Bioretensi: Membangun taman atau area hijau dengan drainase alami untuk menangkap dan menyaring air hujan.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air; Program penguatan ketahanan bencana; dan Program peningkatan ruang terbuka hijau
		Konstruksi Permeabel: Menggunakan material permeabel untuk jalan dan trotoar, misalnya Paving Block atau <i>Grass Block</i> sehingga air hujan dapat meresap langsung ke tanah.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana

b. Pengelolaan sumber daya Cekungan Air Tanah (CAT)

Cekungan Air Tanah (CAT) merupakan kawasan geologis yang mampu menyimpan, mengalirkan, dan melepaskan air tanah. Pengelolaan sumber daya air di CAT sangat penting untuk menjaga ketersediaan air yang berkelanjutan, terutama di wilayah yang bergantung pada air tanah sebagai sumber utama.

Untuk menjaga keberlanjutan CAT, beberapa upaya yang bisa dilakukan adalah:

No	Program	Kegiatan	
1	Konservasi dan Perlindungan Daerah Resapan	Identifikasi Daerah Resapan: Mengidentifikasi zona resapan utama di dalam CAT untuk memastikan air hujan dapat meresap secara optimal ke dalam akuifer.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air; dan Program penguatan ketahanan bencana;
		Penghijauan dan Reklamasi: Melindungi daerah resapan dengan menanam vegetasi, mencegah pembukaan lahan yang berlebihan, dan mengembalikan fungsi lahan kritis.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air; Program penguatan ketahanan bencana; dan Program peningkatan ruang terbuka hijau
		Penetapan Zona Perlindungan: Menetapkan kawasan lindung di sekitar daerah resapan untuk mencegah aktivitas yang dapat merusak atau mencemari tanah.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air; Program penguatan ketahanan bencana; dan Program

No	Program	Kegiatan	
			peningkatan ruang terbuka hijau
2	Pengendalian Pemanfaatan Air Tanah	Perizinan Pemanfaatan: Mengatur pemanfaatan air tanah melalui sistem perizinan yang mengontrol jumlah air yang dapat diambil oleh individu atau industri.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Monitoring Pengambilan Air Tanah: Menggunakan teknologi seperti sensor dan perangkat telemetri untuk memantau tingkat pengambilan air tanah agar tidak melebihi daya dukung akuifer.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Penentuan Zona Eksploitasi Terbatas: Menentukan zona di mana pengambilan air tanah dibatasi atau dilarang untuk mencegah penurunan muka air tanah.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
3	Rehabilitasi Akuifer yang Terganggu	Teknologi Artificial Recharge: Meningkatkan infiltrasi air ke dalam akuifer menggunakan embung, sumur resapan, atau kolam infiltrasi.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Pengelolaan Sumur Tidak Produktif: Menutup sumur-sumur tua atau tidak produktif yang dapat menjadi jalur pencemaran ke akuifer.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Rehabilitasi Lahan: Memperbaiki lahan-lahan kritis di atas CAT untuk meningkatkan kemampuan resapan air	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air; Program penguatan ketahanan bencana; dan Program peningkatan ruang terbuka hijau
4	Sumur Resapan	Dilakukan pembangunan sumur resapan di wilayah dengan potensi air tanah langka . Sumur resapan ini digunakan untuk	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air; Pdan rogram penguatan ketahanan bencana.

No	Program	Kegiatan	
		penyimpanan air hujan ke dalam tanah.	
5	Studi Geolistrik	Melakukan kajian Geolistrik untuk mengetahui potensi air tanah beserta ketebalan akuifer pada wilayah yang rentan kekeringan . Potensi air tanah selama ini masih berupa peta cekungan air tanah.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air; Pdan rogram penguatan ketahanan bencana.

c. Pengelolaan sumber daya Mata Air

Mata air merupakan sumber air yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan ekosistem. Pengelolaan mata air yang baik diperlukan untuk menjaga kualitas, kuantitas, dan keberlanjutan sumber daya ini, terutama di daerah yang bergantung pada mata air sebagai sumber utama. Berikut adalah strategi pengelolaan mata air secara efektif:

No	Program	Kegiatan	Relevansi Program Wan-Nur
1	Kajian Pemetaan dan Evaluasi Mata Air	Survey dan pemetaan keberadaan mata air secara partisipatif	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Evaluasi keberadaan dan kondisi mata air	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Perencanaan konservasi mata air	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
2	Perlindungan dan Konservasi Daerah Sekitar Mata Air	Penetapan Zona Perlindungan Mata Air: Menetapkan zona perlindungan mata air yang melarang aktivitas yang dapat merusak atau mencemari sumber air.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Rehabilitasi Lingkungan: Menanam kembali pohon dan vegetasi asli di sekitar mata air untuk menjaga stabilitas tanah dan	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air; Program penguatan ketahanan bencana; dan

No	Program	Kegiatan	Relevansi Program Wan-Nur
		meningkatkan infiltrasi air, terutama di daerah hulu (bagian selatan) yang telah berubah menjadi lahan pertanian berdampak pada rendahnya air tanah dalam (sumur bor).	Program peningkatan ruang terbuka hijau
		Pengendalian Erosi: Memasang terasering atau penahan tanah untuk mencegah erosi di area sekitar mata air.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
3	Pengendalian Pemanfaatan Mata Air	Pengaturan Penggunaan Air: Mengatur pemanfaatan air dari mata air untuk memastikan penggunaannya sesuai dengan daya dukung sumber daya tersebut.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Prioritas Penggunaan: Memberikan prioritas penggunaan air untuk kebutuhan dasar manusia dan ekosistem sebelum kebutuhan lain seperti industri atau irigasi.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Pengawasan dan Monitoring: Memantau debit air mata air secara berkala untuk mendeteksi perubahan yang mungkin mengindikasikan penurunan daya dukung.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana

d. Pengelolaan sumber daya Embung

Embung merupakan bangunan penampung air yang dirancang untuk mengelola dan menyimpan air hujan atau limpasan permukaan. Embung berfungsi untuk meningkatkan ketersediaan air di daerah tertentu, mendukung irigasi, pengendalian banjir, serta kebutuhan domestik dan industri. Adapun strategi pengelolaan embung secara efektif adalah sebagai berikut:

No	Program	Kegiatan	Relevansi Program Wan-Nur
1	Konservasi Embung	Penangkapan Air Hujan: Memaksimalkan fungsi embung untuk menangkap	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air

No	Program	Kegiatan	Relevansi Program Wan-Nur
		air hujan saat musim penghujan guna digunakan di musim kemarau.	dan Program penguatan ketahanan bencana
		Peningkatan Resapan Air: Memadukan embung dengan sumur resapan di sekitar untuk meningkatkan pengisian kembali akuifer.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Pengelolaan Sedimentasi: Membersihkan endapan lumpur secara rutin agar kapasitas penampungan embung tetap optimal.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Pengelolaan Daerah Tangkapan Air: Melindungi area sekitar embung dari pencemaran, seperti limbah domestik dan aktivitas pertanian yang tidak ramah lingkungan.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Penanaman Vegetasi Penahan: Menanam vegetasi di sekitar embung untuk mengurangi erosi dan sedimentasi.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Pemasangan Sistem Filtrasi: Memasang sistem penyaring sederhana di saluran masuk untuk mencegah masuknya material padat.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
2	Pengaturan Pemanfaatan Air	Pengaturan Prioritas Pemakaian: Mengatur penggunaan air untuk kebutuhan domestik, irigasi, dan cadangan air selama musim kering.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Penyusunan Jadwal Distribusi: Menyusun jadwal distribusi air yang adil bagi masyarakat sekitar sesuai kebutuhan.	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air dan Program penguatan ketahanan bencana
		Pengelolaan Berbasis Komunitas: Melibatkan	Program pelestarian dan perlindungan sumber mata air

No	Program	Kegiatan	Relevansi Program Wan-Nur
		masyarakat dalam pengelolaan dan pengawasan pemanfaatan air dari embung.	dan Program penguatan ketahanan bencana

4 Rekomendasi

Berdasarkan hasil kajian, untuk mewujudkan ketahanan air di Kabupaten Bojonegoro, direkomendasikan hal sebagai berikut:

Periode	Program	Rekomendasi
Jangka Pendek	Rainwater Harvesting (Pemanenan Air Hujan)	<ul style="list-style-type: none"> Tujuan akhir pemanenan air hujan bukan hanya meningkatkan cadangan air bersih selama musim kemarau, tapi juga untuk recharge air tanah. Alat pemanen air hujan harus dilengkapi dengan system filtrasi Bioring Ceramic → untuk mengurangi kandungan logam berat dalam air hujan di Kabupaten Bojonegoro
Jangka Menengah	Pemetaan Mata Air Partisipatif	<ul style="list-style-type: none"> Kajian pemetaan potensi mata air mendesak untuk segera dilaksanakan di Kabupaten Bojonegoro, sebelum lebih banyak mata air yang mengering. Untuk mempercepat proses Pemetaan mata air, harus melibatkan pengetahuan Masyarakat local. Data inventarisasi mata air ini penting sebagai dasar konservasi mata air untuk mewujudkan ketahanan air di Kabupaten Bojonegoro di masa mendatang.
	Program Penanaman 1 juta Pohon Beringin	Konservasi air dengan spesies endemik yang mampu mengkonservasi air
	Injeksi sumur resapan	Injeksi sisa pemanenan Air Hujan ke sumur resapan → meningkatkan infiltrasi dan simpanan air tanah, khususnya di wilayah Cekungan Air tanah (CAT). Dengan terisinya CAT, maka resiko kekeringan dapat diminimalisir.
Jangka Panjang	Konservasi wilayah hulu	Diarahkan di Wilayah bagian selatan yang memiliki status Langka akan sumber Daya air, mengingat tidak adanya potensi CAT di wilayah tersebut, ditambah lagi keberadaan

		hutan telah berubah menjadi lahan pertanian berdampak pada menurunnya jumlah simpanan air tanah dalam dan memperparah kekeringan di wilayah selatan. Wilayah tersebut antara lain: Margomulyo, Sekar, Gondang, Temayang.
	Konservasi Cekungan Air Tanah (CAT)	Diarahkan di wilayah utara Kabupaten Bojonegoro, dengan potensi CAT terbesar (bagian CAT Surabaya – Lamongan), meliputi: Baureno, Kanor, Kepohbaru, Sumberrejo, Balen, Kapas, Bojonegoro, Kalitidu dan Gayam.
	Konservasi Mata Air	Diarahkan di wilayah tengah Kabupaten Bojonegoro, yang di lalui sesar atau patahan yang memotong akuifer. Potensi mata air berada di daerah sekitar Sesar Normal, meliputi Kecamatan Temayang, Bubulan, Tambakrejo, Ngraho dan Gondang. Selain itu juga wilayah yang berada di sekitar Sesar Naik, yaitu Kecamatan Margomulyo
	Konservasi Embung	Diarahkan di Kecamatan yang memiliki potensi embung yang banyak atau volume simpanan airnya besar, antara lain seperti: Kedungadem (86 embung), Kepohbaru (84 embung), Sugihwaras (27 embung), dan Sumberrejo (42 embung).

5 Refferensi

- Anabtawi, Fathi, Nidal Mahmoud, Issam A. Al-Khatib, and Yung-Tse Hung. 2022. "Heavy Metals in Harvested Rainwater Used for Domestic Purposes in Rural Areas: Yatta Area, Palestine as a Case Study." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(5): 2683. doi:10.3390/ijerph19052683.
- Chubaka, Chirhakarhula E., Harriet Whiley, John W. Edwards, and Kirstin E. Ross. 2018. "Lead, Zinc, Copper, and Cadmium Content of Water from South Australian Rainwater Tanks." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(7): 1551. doi:10.3390/ijerph15071551.
- Haider, Fasih Ullah, Cai Liqun, Jeffrey A. Coulter, Sardar Alam Cheema, Jun Wu, Renzhi Zhang, Ma Wenjun, and Muhammad Farooq. 2021. "Cadmium Toxicity in Plants: Impacts and Remediation Strategies." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 211: 111887. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.111887.
- Hu, Xuanyu, Siyi Xu, Xiaodong Deng, and Chao Wang. 2024. "Temporal Variation, Sources, Fluxes, and Risk Assessment of Heavy Metals and Arsenic in Rainwater from Zhanjiang Bay, Northern

South China Sea: Impact of Typhoons Lion and Kompasu.” *Marine Pollution Bulletin* 209: 117077. doi:10.1016/j.marpolbul.2024.117077.

Malekei, Roholah, Mohammad Hossein Sayadi, Reza Dahmardeh Behrooz, and Dimitris G. Kaskaoutis. 2024. “Toxic Heavy Metals in Rainwater Samples of Tehran.” *Journal of Atmospheric Chemistry* 81(1): 3. doi:10.1007/s10874-023-09454-7.

Suhani, Ibha, Sinha Sahab, Vaibhav Srivastava, and Rajeev Pratap Singh. 2021. “Impact of Cadmium Pollution on Food Safety and Human Health.” *Current Opinion in Toxicology* 27: 1–7. doi:10.1016/j.cotox.2021.04.004.

Zamora-Ledezma, Camilo, Daniela Negrete-Bolagay, Freddy Figueroa, Ezequiel Zamora-Ledezma, Ming Ni, Frank Alexis, and Victor H. Guerrero. 2021. “Heavy Metal Water Pollution: A Fresh Look about Hazards, Novel and Conventional Remediation Methods.” *Environmental Technology & Innovation* 22: 101504. doi:10.1016/j.eti.2021.101504.

Zeng, Jie, Guilin Han, Shitong Zhang, Qian Zhang, and Rui Qu. 2024. “Potentially Toxic Elements in Rainwater during Extreme Rainfall Period in the Megacity Beijing: Variations, Sources, and Reuse Potential.” *Atmospheric Environment* 318: 120242. doi:10.1016/j.atmosenv.2023.120242.