

PERANCANGAN SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN SEBAGAI ALTERNATIF PENYEDIAAN AIR BERSIH DI INDUSTRI KEMASAN BERBAHAN DASAR KARDUS

METARIA WINATA



PROGRAM STUDI TEKNIK DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan akhir dengan judul “Perancangan Sistem Pemanenan Air Hujan Sebagai Alternatif Penyediaan Air Bersih di Industri Kemasan Berbahan Dasar Kardus” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir laporan akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Metaria Winata
J0413221037

ABSTRAK

METARIA WINATA. Perancangan Sistem Pemanenan Air Hujan Sebagai Alternatif Penyediaan Air Bersih di Industri Kemasan Berbahan Dasar Kardus. Dibimbing oleh SULISTIJORINI dan SEPTIAN FAUZI DWI SAPUTRA

Industri *packaging* menggunakan air tanah untuk memenuhi berbagai kebutuhan. Pemakaian air tanah yang tidak sesuai izin dapat dikenakan sanksi. Pemanenan air hujan merupakan suatu metode untuk menangkap, mengumpulkan, dan menyimpan air hujan yang berasal dari atap bangunan maupun permukaan tanah ketika hujan berlangsung. Penelitian ini bertujuan merancang sistem *plumbing* air bersih dan menganalisis efektivitas teknologi filtrasi dalam menurunkan kadar pencemar. Dimensi talang yang direncanakan berbentuk trapesium dengan dimensi lebar atas 0,40 m, lebar bawah 0,35 m, dan tinggi 0,50 m. Dimensi pipa datar 300 mm dan pipa tegak 200 mm. Panjang, lebar, dan tinggi bak filtrasi direncanakan sebesar 2,8 m, 1,4 m, dan 1,85 m. Kebutuhan volume tangki penyimpanan ditetapkan sebesar 56 m³/bulan. Filtrasi mampu meningkatkan kualitas air hujan dan memenuhi baku mutu berdasarkan Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Suplai air hujan mencapai 2.231 m³/tahun selama 261 hari dengan potensi pemanfaatan rata-rata 71%.

Kata Kunci : Air bersih, curah hujan, filtrasi, rancangan, tangki penyimpanan

ABSTRACT

METARIA WINATA. Design of a Rainwater Harvesting System as an Alternative Source of Clean Water Supply for the Cardboard-Based Packaging Industry. Supervised by SULISTIJORINI and SEPTIAN FAUZI DWI SAPUTRA.

The packaging industry relies on groundwater to meet various operational needs. Groundwater extraction that exceeds the permitted limit may result in legal sanctions. Rainwater harvesting is a method of collecting, capturing, and storing rainwater from building rooftops or ground surfaces during rainfall events. This study aimed to design a clean water plumbing system and analyze the effectiveness of filtration technology in reducing pollutant concentrations. The proposed gutter was designed with a trapezoidal cross-section, having a top width of 0.40 m, a bottom width of 0.35 m, and a height of 0.50 m. The horizontal and vertical pipes were designed with diameters of 300 mm and 200 mm, respectively. The filtration tank was designed with dimensions of 2.8 m in length, 1.4 m in width, and 1.85 m in height. The required storage tank capacity was determined to be 56 m³ per month. The filtration system improved rainwater quality and met the water quality standards stipulated in the Indonesian Minister of Health Regulation (Permenkes) No. 2 of 2023. The rainwater harvesting system was estimated to supply 2,231 m³ of water annually over 261 days, with an average utilization potential of 71%.

Keywords: Clean water, rainfall, filtration, design, storage tank.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PERANCANGAN SISTEM PEMANENAN AIR HUJAN SEBAGAI ALTERNATIF PENYEDIAAN AIR BERSIH DI INDUSTRI KEMASAN BERBAHAN DASAR KARDUS

METARIA WINATA

Laporan Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan pada
Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan

**PROGRAM STUDI TEKNIK DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



**Judul Laporan : Perancangan Sistem Pemanenan Air Hujan Sebagai Alternatif
Penyediaan Air Bersih di Industri Kemasan Berbahan Dasar
Kardus**

Nama : Metaria Winata
NIM : J0413221037

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Ir. Sulistijorini, M.Si.

Pembimbing 2:
**Septian Fauzi Dwi Saputra, S.T.P., M.Si.,
Ph.D.**

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Beata Ratnawati, S.T., M.Si.
NPI 201811198806252001

Dekan Sekolah Vokasi:
Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T.
NIP 196607171992031003

Tanggal Ujian:
(10 Juli 2026)

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga laporan ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2025 sampai bulan Mei 2026 ini ialah Sistem Pengolahan dan Distribusi Air, dengan judul “Perancangan Sistem Pemanenan Air Hujan Sebagai Alternatif Penyediaan Air Bersih di Industri Kemasan Berbahan Dasar Kardus”.

Tugas Akhir disusun sebagai salah satu syarat dalam perolehan gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan Sekolah Vokasi IPB. Penyusunan laporan proyek akhir tidak akan dapat terlaksana dengan baik tanpa kontribusi, dukungan, dan kerja sama dari berbagai pihak. Maka dari itu, diucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Sulistijorini, M.Si. dan Septian Fauzi Dwi Saputra, S.T.P., M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing laporan proyek akhir yang telah memberikan berbagai bimbingan, arahan, saran, motivasi, dan juga dukungan.
2. Dr. Ir. Beata Ratnawati, S.T., M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan yang senantiasa memberikan dukungan dan apresiasi terhadap pelaksanaan laporan proyek akhir.
3. Zunawakhir Tanjung, S.T. selaku *Specialist Environment* perusahaan yang juga merupakan pembimbing lapang yang telah membantu pengambilan data penelitian serta memberikan arahan dan dukungan.
4. Keluarga, yang telah memberikan dukungan baik moral ataupun materil, terutama do'a yang tiada hentinya.
5. Rekan-rekan seperjuangan dari Teknik dan Manajemen Lingkungan Sekolah Vokasi IPB angkatan 59, serta segenap teman dan sahabat atas segala bantuan, dukungan, dan kebersamaan yang telah diberikan selama masa perkuliahan hingga penyusunan laporan proyek akhir.

Disadari bahwa laporan proyek akhir masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga karya ilmiah bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Metaria Winata

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Siklus Hidrologi	4
2.2 Air Hujan	5
2.3 Curah Hujan	7
2.4 Intensitas Hujan	8
2.5 Pemanenan Air Hujan	8
2.6 Sistem <i>Plumbing</i> Air Bersih	11
2.7 Penelitian Sebelumnya	12
III METODE	16
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Prosedur Kerja	16
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Pemakaian Air Perusahaan	29
4.2 Analisis Hidrologi	30
4.3 Dimensi Talang dan Pipa Sistem Pemanenan Air Hujan	33
4.4 Perancangan Teknologi Filtrasi	34
4.5 Dimensi Tangki Penyimpanan	39
4.6 Perancangan Sistem <i>Plumbing</i> Air Bersih	45
4.7 Desain Sistem Plumbing Air Bersih	47
4.8 Neraca Air	48
4.9 Rencana Anggaran Biaya (RAB)	49
4.10 Efektifitas dan Efisiensi Sistem Pemanenan Air Hujan	50
V SIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Simpulan	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	60



DAFTAR TABEL

1	Hasil uji kualitas air hujan kawasan indsutri Citatah	5
2	Hasil uji kualitas air hujan di Kota Dumai	6
3	Hasil uji kualitas air hujan di kawasan perumahan Kota Bogor	6
4	Baku mutu air bersih untuk keperluan hygiene dan sanitasi	7
5	Studi literatur teknologi filtrasi pengolahan air hujan	12
6	Syarat nilai parameter statistik distribusi probabilitas	18
7	Nilai kritis Do untuk uji Smirnov-Kolmogorov	20
8	Nilai derajat kepercayaan Chi-Kuadrat	20
9	Periode ulang untuk tipologi kota tertentu	21
10	Koefisien limpasan permukaan	22
11	Beban maksimum yang diizinkan untuk talang (dalam m ² luas atap)	22
12	Kriteria desain filtrasi	23
13	Tekanan yang dibutuhkan alat <i>plumbing</i>	26
14	Pemakaian air tanah perusahaan tahun 2025	29
15	Pemakaian air <i>hygiene</i> dan sanitasi WWTP tahun 2025	29
16	Curah hujan maksimum dari tahun 1996-2025	31
17	Penentuan jenis distribusi probabilitas	31
18	Perhitungan intensitas hujan dan debit rencana	33
19	Penentuan dimensi talang	34
20	Penentuan dimensi pipa	34
21	Hasil perancangan filtrasi	35
22	Uji kualitas air hujan	37
23	Perhitungan curah hujan andalan	39
24	Suplai dan potensi pemanfaatan	40
25	Defisit dan <i>overflow</i>	41
26	Suplai dan potensi pemanfaatan selama 7 bulan	42
27	Perhitungan tangki penyimpanan simulasi saat sepanjang tahun	43
28	Volume tangki penyimpanan simulasi saat musim hujan	43
29	Volume tangki penyimpanan simulasi saat musim kemarau	44
30	Rekapitulasi diameter pipa	46
31	Rencana anggaran biaya konstruksi	49
32	Perhitungan efektivitas sistem pemanenan air hujan per tahun	50
33	Perhitungan efektivitas sistem pemanenan air hujan selama 7 bulan	51
34	Perhitungan pajak air	51

DAFTAR GAMBAR

1	Siklus hidrologi (Levizzani dan Cattani 2019)	4
2	Sistem pemanenan air hujan (Deng 2021)	9
3	Lokasi penelitian	16
4	Diagram alir penelitian	17
5	Rancangan uji coba filtrasi	24
6	Grafik pompa berdasarkan debit	28



7	Pompa distribusi	47
8	Neraca air pemanenan air hujan per tahun	48

DAFTAR LAMPIRAN

1	Uji Smirnov-Kolmogorov distribusi Gumbel	61
2	Uji Chi-Kuadrat distribusi Gumbel	62
3	Denah <i>plumbing</i> air bersih	63
4	Desain sistem pemanenan air hujan	64
5	Dimensi talang dan perpipaan	65
6	Potongan unit filtrasi	66
7	Dimensi tangki penyimpanan	67
8	Dimensi tangki <i>overflow</i>	68

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki peran mendasar dalam mendukung keberlangsungan kehidupan manusia (Mugagga dan Nabaasa 2016). Keberadaan air dibutuhkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan pokok dalam kehidupan sehari-hari seperti konsumsi, pengolahan makanan, mencuci, serta aktivitas domestik lainnya (Hargono *et al.* 2022). Selain dimanfaatkan pada tingkat rumah tangga air juga berperan penting dalam menunjang berbagai sektor antara lain perkantoran, industri, pertanian, peternakan, perikanan, pariwisata, serta fasilitas pelayanan publik seperti rumah sakit dan sekolah.

Sektor industri merupakan salah satu pengguna air terbesar karena berbagai proses produksinya sangat bergantung pada ketersediaan air. Salah satu di antaranya adalah industri *packaging* yang memiliki peranan strategis dalam mendukung kegiatan operasional berbagai sektor industri termasuk manufaktur maupun jasa (Putradieska 2021). Dalam operasionalnya, industri ini menggunakan air tanah untuk memenuhi kebutuhan seperti produksi, kebersihan area kerja, sanitasi, MCK, pencucian mesin, air baku pengolahan air limbah, dan lain-lain. Air tanah merupakan bagian dari siklus hidrologi yang berlangsung di alam serta terdapat dalam batuan yang berada di bawah permukaan tanah meliputi keterdapatannya, penyebaran, dan pergerakan air tanah dengan penekanan pada hubungannya terhadap kondisi geologi suatu daerah (Rifai 2022).

Penggunaan sumber daya air pada air tanah diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Izin Pengusahaan Air Tanah dan Persetujuan Penggunaan Air Tanah. Penggunaan air tanah untuk usaha di bidang industri dilakukan setelah memiliki izin pengusahaan air tanah. Penggunaan air tanah dengan debit melebihi izin pengusahaan air tanah dapat dikenakan sanksi berdasarkan Permen ESDM Nomor 14 Tahun 2024 Pasal 32. Sementara itu, kebutuhan air bersih terus meningkat seiring meningkatnya operasional industri. Pengeboran air tanah yang berlebihan juga dapat menyebabkan pengurangan jumlah air tanah sebagai pengisi dari akuifer sehingga terjadi penurunan muka air tanah yang biasanya diikuti penurunan muka tanah (Pryambodo dan Supriyadi 2015). Penggunaan air PDAM juga meningkatkan biaya operasional perusahaan karena harga yang relatif lebih mahal. Oleh karena itu, perlu alternatif lain yang efisien dan mampu menjaga keseimbangan antara kebutuhan industri dan ketersediaan air dialam.

Salah satu alternatif yang dapat diupayakan adalah pemanenan air hujan. Air hujan merupakan sumber air dengan ketersediaan yang melimpah dan dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan non-konsumsi di industri. Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki potensi besar dalam pemanfaatan air hujan terutama di wilayah dengan curah hujan tinggi seperti Bogor. Menurut Zuliarti dan Saptomo (2021), Bogor dikenal sebagai salah satu daerah dengan curah hujan yang tinggi dimana rata-rata curah hujan tahunan mencapai 3500 - 4000 mm sehingga sangat potensial untuk diterapkan sistem pemanenan air hujan. Melalui penerapan tersebut, industri di wilayah Bogor dapat mengurangi ketergantungan terhadap air tanah, menekan biaya operasional, serta berkontribusi dalam upaya konservasi sumber daya air secara berkelanjutan.

Pemanfaatan air hujan sebagai sumber air alternatif dapat dilakukan dengan menangkap limpasan yang berasal dari atap bangunan melalui sistem *rainwater harvesting*. Metode ini merupakan teknik pengumpulan, penyimpanan, dan pemanfaatan air hujan untuk memenuhi berbagai kebutuhan termasuk sebagai sumber air baku yang berpotensi diolah menjadi air minum. Meskipun kualitas air hujan pada saat jatuh umumnya cukup baik, air yang ditampung melalui atap bangunan berisiko mengalami pencemaran akibat material penyusun atap, hasil dekomposisi bahan organik, maupun polutan yang terdapat di atmosfer. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan sederhana sebelum air dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari (Asnaning *et al.* 2018).

Salah satu metode pengolahan yang mudah diterapkan adalah filtrasi. Filtrasi merupakan proses penyaringan yang bertujuan mengurangi kandungan berbagai kontaminan melalui media berpori yang dilalui oleh air (Annisa 2021). Penerapan proses ini mampu menurunkan konsentrasi berbagai parameter pencemar seperti bakteri, warna, rasa, bau, kesadahan, besi, aluminium, zat organik, nitrit, nitrat, sulfat, klorida, dan seng sehingga kualitas air yang dihasilkan lebih memenuhi persyaratan sebagai air bersih maupun sumber air baku untuk air minum (Annisa 2021). Selain efektif dalam meningkatkan mutu air, sistem filtrasi juga memiliki keunggulan berupa kebutuhan operasional, pemantauan, dan pemeliharaan yang relatif sederhana.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana rancangan sistem *plumbing* air bersih yang direncanakan?
- b. Berapa efektivitas teknologi filtrasi dalam menurunkan kadar pencemar pada air hujan?

1.3 Tujuan

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu :

- a. Merancang sistem *plumbing* air bersih.
- b. Menganalisis efektivitas sistem filtrasi dalam menurunkan kadar pencemar pada air hujan.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini antara lain :

- a. Manfaat untuk Perusahaan
Penelitian ini memberikan gambaran tentang potensi efisiensi penggunaan air dan penghematan biaya operasional melalui pemanenan air hujan serta memberikan gambaran efektivitas filtrasi dalam menurunkan kadar pencemar.
- b. Manfaat untuk Ilmu Pengetahuan
Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan pengetahuan dan teknologi konservasi air khususnya dalam penerapan sistem pemanenan air hujan dengan metode *roof cathment* pada kawasan industri.
- c. Manfaat untuk Lingkungan
Sistem pemanenan air hujan berperan dalam menjaga keseimbangan

siklus hidrologi, mengurangi risiko penurunan muka air tanah, serta membantu mengurangi limpasan air hujan yang berpotensi menyebabkan banjir dan erosi tanah.

d. Manfaat untuk Pemangku Kebijakan

Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam merumuskan kebijakan konservasi air yang mendorong penerapan sistem pemanenan air hujan pada sektor industri dan bangunan publik.

e. Manfaat untuk Masyarakat

Penelitian ini dapat menjadi sumber informasi mengenai pentingnya pengelolaan air secara berkelanjutan melalui pemanfaatan air hujan sehingga kesadaran terhadap penghematan air tanah dapat meningkat.

1.5 Ruang Lingkup

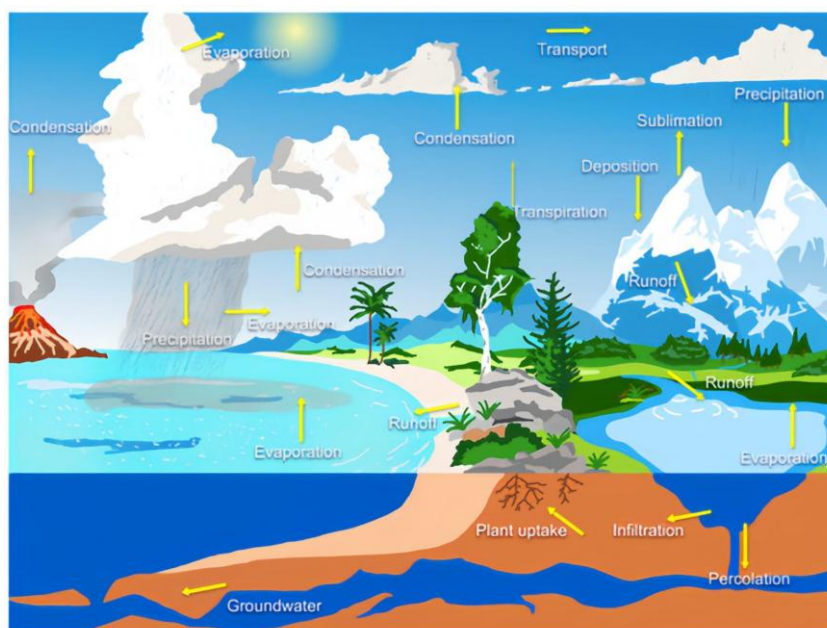
Penelitian ini melingkupi analisis curah hujan rencana, analisis potensi pemanfaatan pemanenan air hujan, efektivitas alat filtrasi pengolah air hujan skala laboratorium, perancangan sistem pemanenan air hujan, perancangan sistem *plumbing* air bersih, perhitungan rencana anggaran biaya konstruksi, dan efektivitas serta efisiensi sistem pemanenan air hujan.



II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses peredaran air yang terjadi secara berkelanjutan dari permukaan bumi menuju atmosfer kemudian kembali lagi ke bumi melalui berbagai tahapan alami (Syahputra dan Arifitama 2018). Proses tersebut menjadi salah satu konsep fundamental dalam kajian biogeokimia karena menjelaskan mekanisme sirkulasi air di alam yang berlangsung secara terus-menerus (Gambar 1).



Gambar 1 Siklus hidrologi (Levizzani dan Cattani 2019)

Siklus hidrologi yang ditunjukkan pada Gambar 1 meliputi beberapa tahapan yaitu penguapan, evapotranspirasi, kondensasi, presipitasi, aliran air, infiltrasi, pengendapan air tanah, dan aliran air tanah menuju laut. Penguapan merupakan proses perubahan air yang berada di sungai, danau, maupun laut menjadi uap akibat energi panas matahari. Sementara itu, evapotranspirasi adalah proses pelepasan uap air dari seluruh permukaan bumi baik dari badan air, tanah, maupun vegetasi dan makhluk hidup. Uap air yang naik ke atmosfer akan terus berkumpul hingga udara mencapai kondisi jenuh. Ketika suhu udara menurun uap air akan berubah menjadi butiran air melalui proses kondensasi sehingga terbentuk awan. Setelah jumlah butiran air di dalam awan semakin banyak dan tidak lagi mampu dipertahankan air akan jatuh ke permukaan bumi sebagai hujan melalui proses presipitasi (Nurhijriah *et al.* 2022). Air hujan yang mencapai permukaan bumi selanjutnya mengalir dari daerah yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah.

Sebagian air meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi sedangkan sisanya mengalir di atas permukaan sebagai limpasan (*run off*). Air yang telah masuk ke dalam tanah kemudian bergerak melalui pori-pori tanah hingga menjadi air tanah yang pada akhirnya akan mengalir kembali menuju laut sehingga siklus hidrologi berlangsung secara berkesinambungan.

2.2 Air Hujan

Air hujan merupakan salah satu sumber daya air yang tersedia melimpah di alam dan dapat dimanfaatkan tanpa biaya sehingga berpotensi menjadi sumber air alternatif (Pratiwi *et al.* 2022). Berdasarkan klasifikasi yang digunakan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), curah hujan dikelompokkan menjadi empat kategori. Hujan ringan memiliki intensitas kurang dari 20 mm/hari, hujan sedang berada pada kisaran 20-50 mm/hari, hujan lebat memiliki intensitas 50-100 mm/hari, sedangkan hujan sangat lebat ditandai dengan intensitas yang melebihi 100 mm/hari (Kharisma dan Widomurti 2018).

Kualitas air hujan diberbagai wilayah berbeda-beda. Aktivitas industri dan emisi udara di kawasan industri menciptakan pencemar yang dapat terdeposit ke dalam tetesan hujan sehingga kualitas air hujan di lokasi ini seringkali tidak layak langsung dipakai tanpa pengolahan. Emisi gas industri seperti SO₂ dan NO₂ bereaksi di atmosfer dan berkontribusi pada hujan asam yang secara nyata menurunkan pH air hujan di kawasan industri dibanding lokasi non-industri serta mempengaruhi karakter kimia air hujan seperti meningkatnya nitrat (NO₃⁻) dan sulfat (SO₄⁻) terlarut yang berasal dari deposisi gas polutan tersebut (Handriyono dan Dewi 2018). Selain perubahan pH, logam berat seperti besi (Fe), mangan (Mn), dan kromium heksavalen (Cr⁶⁺) dapat terdeteksi melebihi nilai acuan lingkungan serta koliform total sebagai indikator kontaminasi biologis yang masuk melalui deposisi partikel dan polutan udara (Abdillah dan Febrina 2025). Selain itu, parameter TDS dan kekeruhan juga dapat terpengaruh oleh deposisi polutan dari udara yang dipengaruhi emisi industri dan aktivitas urban. Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan penelitian kualitas air hujan di kawasan industri (Tabel 1).

Tabel 1 Hasil uji kualitas air hujan kawasan indstutri Citatah

No	Parameter	Hasil Uji	Satuan
1	Kekeruhan skala	3,22	NTU
2	Padatan <i>dissolved</i> total	158	ppm
3	pH	6,95	-
4	Nitrat (NO ₃)	11,82	ppm
5	Nitrit (NO ₂)	Tidak terdeteksi	ppm
6	Klor (Cl)	21,32	ppm
7	Sulfat (SO ₄)	11,87	ppm
8	Besi (Fe)	Tidak terdeteksi	ppm
9	Mangan (Mn)	Tidak terdeteksi	ppm
10	Kesadahan (CaCO ₃)	87,48	ppm
11	Klasium (Ca)	22,03	ppm
12	Magnesium (Mg)	7,78	ppm
13	Daya hantar Listrik (DHL)	290	μmhos/cm

Sumber: Kurniawan *et al.* (2023)

Berdasarkan Tabel 1, kadar pencemar dalam air hujan di kawasan industri Citatah cukup tinggi terutama untuk nitrat. Hal ini menyebabkan air tersebut tidak layak digunakan untuk kebutuhan *potable*. Selain di kawasan industri Citatah, uji kualitas air hujan juga dilakukan di beberapa lokasi di Kota Dumai (Tabel 2).

Tabel 2 Hasil uji kualitas air hujan di Kota Dumai

No	Parameter	Lokasi						
		1	2	3	4	5	6	7
1	pH	6,53	6,83	6,28	6,07	5	6,93	6,46
2	Total Dissolved Solid (TDS)	22	40	22	31	14	105	76
3	Kekeruhan	0,82	0,7	0,58	0,73	0,59	2,83	2,24
4	<i>Escherichia coli</i>	58	0	0	103	157	0	210
5	NO ₃	0,56	1,02	0,47	0,37	0,0751	0,15	0,2
6	NO ₂	0,0039	0,0039	0,0039	0,0084	0,0066	0,0075	0,0039
7	Cr ⁶⁺	0,0065	0,0017	0,0018	0,0022	0,0018	0,0017	0,0017
8	Fe	0,005	0,005	0,006	0,018	0,018	0,079	0,109
9	Mn	0,032	0,028	0,034	0,017	0,006	0,021	0,012

Sumber: Abdillah dan Febrina (2025)

Selain di kawasan industri, uji kualitas air hujan juga dilakukan di kawasan perumahan yang dipengaruhi oleh aktivitas industri di sekitar (Tabel 3). Hal ini juga mempengaruhi kualitas air hujan diperumahan.

Tabel 3 Hasil uji kualitas air hujan di kawasan perumahan Kota Bogor

No	Jenis parameter	Hasil uji	Satuan
Parameter Biologi			
1	<i>Escherichia coli</i>	0	CFU / 100 mL
2	Total <i>coliform</i>	0	CFU / 100 mL
Parameter Fisik			
3	Suhu	25,2	°C
4	Total Dissolved Solid	26,2	mg/L
5	Kekeruhan	1,26	NTU
6	Warna	8,97	TCU
7	Bau	Tidak berbau	-
Parameter Kimia			
8	pH	7,04	mg/L
9	Nitrat (sebagai NO ₃ terlarut)	0,56	mg/L
10	Nirit (sebagai NO ₂ terlarut)	0,06	mg/L
11	Kromium valensi 6 (Cr ⁶⁺) (terlarut)	<0,002	mg/L
12	Besi (Fe) (terlarut)	0,32	mg/L
13	Mangan (Mn) (terlarut)	0,02	mg/L
14	Sisa Khlor (terlarut)	<0,01	mg/L
15	Arsen (As)	<0,0002	mg/L
16	Kadmium (Cd)	<0,0002	mg/L
17	Timbal (Pb)	<0,0002	mg/L
18	Flouride (F)	<0,1	mg/L
19	Aluminium (Al)	0,21	mg/L

Sumber: Heggi (2025)

Berdasarkan Tabel 3, parameter besi berada di atas baku mutu air bersih untuk keperluan hygiene dan sanitasi menurut Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Baku mutu air bersih untuk keperluan *hygiene* dan sanitasi mengacu pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 (Tabel 4).

Tabel 4 Baku mutu air bersih untuk keperluan hygiene dan sanitasi

No	Jenis parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan
Parameter Biologi			
1	<i>Escherichia coli</i>	0	CFU / 100 mL
2	Total <i>coliform</i>	0	CFU / 100 mL
Parameter Fisik			
3	Suhu	Suhu udara ± 3	°C
4	Total Dissolved Solid	< 300	mg/L
5	Kekeruhan	< 3	NTU
6	Warna	10	TCU
7	Bau	Tidak berbau	-
Parameter Kimia			
8	pH	6,5 – 8,5	mg/L
9	Nitrat (sebagai NO ₃ terlarut)	20	mg/L
10	Nirit (sebagai NO ₂ terlarut)	3	mg/L
11	Kromium valensi 6 (Cr ⁶⁺) (terlarut)	0,01	mg/L
12	Besi (Fe) (terlarut)	0,2	mg/L
13	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	mg/L

Sumber: Permenkes Nomor 2 Tahun 2023

2.3 Curah Hujan

Curah hujan merupakan salah satu parameter utama yang berkaitan dengan kejadian hujan. Curah hujan didefinisikan sebagai tinggi genangan air hujan yang terkumpul pada permukaan datar tanpa mengalami penguapan, peresapan ke dalam tanah, maupun aliran permukaan (Nurhijriah *et al.* 2022). Menurut Laia dan Setyawan (2020), curah hujan adalah jumlah air hujan yang jatuh pada bidang datar selama periode tertentu dan dinyatakan dalam satuan milimeter (mm), dengan asumsi tidak terjadi evaporasi, run off, maupun infiltrasi. Curah hujan sebesar 1 mm menunjukkan bahwa pada luasan satu meter persegi terkumpul air setinggi 1 mm atau setara dengan satu liter air dalam selang waktu pengukuran tertentu (Suhadi *et al.* 2023).

Besarnya curah hujan di suatu wilayah dipengaruhi oleh berbagai kondisi fisik dan atmosfer. Salah satu faktor yang berpengaruh adalah topografi wilayah (Prasetyo *et al.* 2018). Selain itu, Muflih *et al.* (2019) menjelaskan bahwa arah lereng, arah angin, serta kecepatan angin turut memengaruhi distribusi curah hujan. Faktor meteorologi lainnya seperti suhu udara, kelembaban udara, dan tekanan udara juga berkontribusi terhadap variasi curah hujan pada suatu daerah (Nelvidawati dan Kasman 2023).

Pengukuran curah hujan dilakukan berdasarkan volume air yang jatuh pada permukaan datar dalam periode waktu tertentu seperti harian, mingguan, bulanan, atau tahunan. Dalam perencanaan pemanfaatan sumber daya air, data yang digunakan bukan hanya berasal dari satu lokasi pengamatan melainkan curah hujan rata-rata yang mewakili suatu wilayah atau daerah yang dinyatakan dalam satuan milimeter. Sementara itu, curah hujan rencana merupakan nilai curah hujan yang diperkirakan akan terjadi pada periode tertentu berdasarkan hasil analisis data curah hujan historis sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan dan perancangan sistem sumber daya air (Ardiansyah *et al.* 2022).

2.4 Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan besarnya curah hujan yang terjadi dalam satuan waktu tertentu atau dapat diartikan sebagai tinggi air hujan yang jatuh per satuan waktu (Ridwan *et al.* 2022). Menurut Muflih *et al.* (2019), intensitas hujan dinyatakan dalam berbagai satuan seperti mm/jam, mm/hari, atau mm/tahun sesuai dengan periode pengamatan yang digunakan. Informasi mengenai intensitas hujan memiliki peran penting dalam memperkirakan potensi terjadinya berbagai bencana hidrometeorologi seperti banjir, tanah longsor, dan kekeringan. Selain itu, data intensitas hujan juga dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan pada sektor pertanian, industri, serta kegiatan ekonomi lainnya. Dalam proses analisis, parameter yang umum digunakan meliputi nilai maksimum, minimum, dan rata-rata intensitas hujan.

Besarnya intensitas hujan dipengaruhi oleh durasi kejadian hujan serta periode ulang (*return period*). Ridwan *et al.* (2022) menyatakan bahwa hubungan antara durasi dan intensitas hujan bersifat sebanding di mana hujan yang berlangsung lebih lama umumnya memiliki intensitas yang lebih tinggi sedangkan hujan dengan durasi singkat cenderung memiliki intensitas yang lebih rendah. Intensitas hujan juga meningkat seiring bertambahnya kala ulang yang digunakan dalam analisis. Meskipun demikian, hujan dengan intensitas sangat tinggi umumnya hanya terjadi dalam waktu yang relatif singkat dan mencakup wilayah yang terbatas.

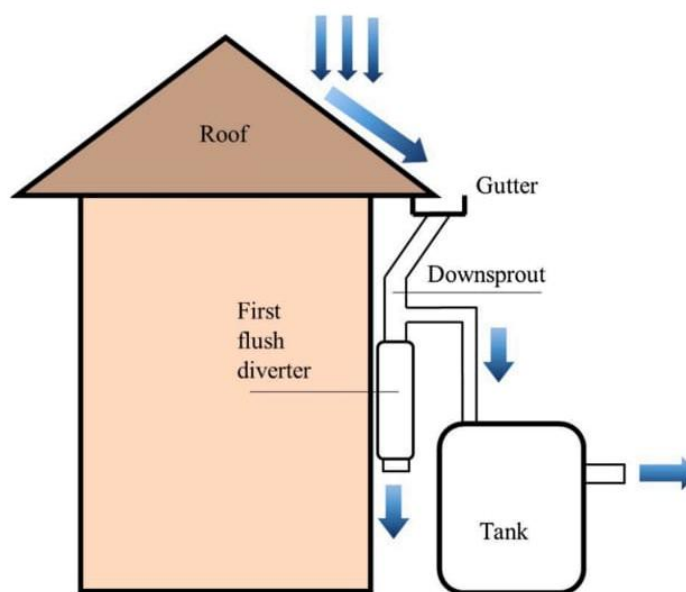
Nilai intensitas hujan diperoleh melalui pengolahan data curah hujan menggunakan metode statistik berdasarkan hasil pengamatan durasi hujan. Oleh karena itu, analisis intensitas hujan dilakukan dengan memanfaatkan data curah hujan historis untuk menghasilkan estimasi intensitas hujan yang dapat digunakan dalam berbagai keperluan perencanaan dan analisis hidrologi.

2.5 Pemanenan Air Hujan

Pemanenan air hujan merupakan suatu metode untuk menangkap, mengumpulkan, dan menyimpan air hujan yang berasal dari atap bangunan maupun permukaan tanah ketika hujan berlangsung. Sebagai salah satu sumber air alternatif, air hujan yang dipanen dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air bersih, mengurangi volume limpasan permukaan akibat hujan, serta mendukung upaya pengisian kembali cadangan air tanah.

Sistem pemanenan air hujan telah dipertimbangkan sebagai sumber air alternatif baik untuk keperluan *potable* (minum) dan keperluan *non-potable* seperti irigasi, *flushing* toilet, mandi, mencuci kendaraan, dan mencuci pakaian (Dirgawati *et al.* 2024). Hal-hal yang penting pada sistem pemanenan air hujan di antaranya

adalah besar pasokan air hujan yang dapat ditampung, besar kebutuhan air bersih, besar volume tangki penyimpanan, kualitas air hujan, dan sebagainya. Kualitas air hujan berhubungan langsung dengan kondisi atmosfer serta kualitas bahan yang digunakan untuk permukaan dari bidang *catchment*, talang, dan tangki penyimpanan. Apabila suatu daerah memiliki kondisi atap atau *catchment area* yang bersih, kuat, dan terbuat dari bahan yang aman maka air hujan yang diperoleh biasanya memiliki kualitas yang baik dan tidak membutuhkan banyak pengolahan (Krisnayanti *et al.* 2019). Sistem PAH umumnya terdiri dari beberapa sistem (Gambar 2).



Gambar 2 Sistem pemanenan air hujan (Deng 2021)

Sistem pemanenan air hujan (PAH) tersusun atas beberapa komponen utama yaitu area penangkapan air hujan, talang, pipa penyalur air hujan menuju tangki penyimpanan, *first flush diverter* (FFD), unit filtrasi, tangki penyimpanan (*storage tank*), serta pipa luapan (*overflow*) (Embongbulan *et al.* 2021). Adapun komponen-komponen utama dalam sistem pemanenan air hujan adalah sebagai berikut. :

a. Area Tangkapan Hujan (*Collection Area*)

Area tangkapan hujan merupakan bagian yang berfungsi sebagai permukaan untuk menerima dan mengumpulkan air hujan. Jenis material yang digunakan pada permukaan ini sangat mempengaruhi jumlah air yang dapat dikumpulkan serta kualitas air yang dihasilkan. Oleh karena itu, bahan penyusun area tangkapan sebaiknya tidak bersifat toksik dan tidak mengandung senyawa yang dapat menurunkan mutu air hujan. Material yang umum digunakan antara lain aluminium, besi galvanis, beton, *fiberglass shingles*, serta bahan anti karat lainnya (Embongbulan *et al.* 2021).

b. Talang dan Pipa (Sistem Pengaliran)

Talang dan pipa berfungsi untuk menangkap sekaligus mengalirkan air hujan dari permukaan atap menuju tangki penyimpanan. Material yang sering digunakan untuk komponen ini adalah PVC dan *galvanized steel*. Sistem pengaliran (*conveyance system*) umumnya terdiri atas saluran atau pipa yang menghubungkan

area tangkapan hujan dengan tangki penyimpanan (*cistern* atau *tank*) (Embongbulan *et al.* 2021). Agar air hujan dapat dialirkan secara optimal, saluran tersebut harus dirancang dengan ukuran dan kemiringan yang sesuai. Dimensi saluran pengaliran ditentukan berdasarkan luas area tangkapan hujan yang digunakan (Tan dan Wora 2021).

c. Filtrasi

Air hujan yang turun melalui atap tidak dapat digunakan seluruhnya karena telah mengalami proses evaporasi pada atap dan juga karena koefisien limpasan pada atap bangunan tersebut sehingga diperlukan filtrasi. Filtrasi merupakan tahap penyaringan air yang bertujuan memisahkan dan mengurangi kandungan kotoran, partikel padat, serta zat pencemar yang tidak diinginkan dengan cara melewatkan air melalui media tertentu baik berupa pasir, kerikil, arang, serat, dan media lainnya. Filter dibutuhkan untuk menyaring sampah (daun, plastik, dan ranting) yang ikut bersama air hujan dalam saluran penampung sehingga kualitas air hujan terjaga (Tan dan Wora 2021). Dalam kondisi tertentu, filter harus bisa dilepas dengan mudah dan dibersihkan dari sampah.

Filtrasi merupakan proses pemisahan partikel padat yang tersuspensi dari suatu cairan dengan cara mengalirkan air melalui media berpori sehingga partikel-partikel tersebut dapat tertahan. Pada instalasi pengolahan air minum, proses filtrasi diterapkan setelah tahap koagulasi dan sedimentasi untuk menghasilkan air dengan kualitas yang lebih baik. Menurut Annisa (2021), filtrasi atau penyaringan merupakan proses pemisahan padatan maupun partikel koloid dari cairan menggunakan media berbutir. Secara alami, mekanisme penyaringan juga terjadi ketika air meresap ke dalam lapisan tanah. Melalui proses ini, berbagai parameter pencemar seperti bakteri, warna, kekeruhan, dan besi dapat dikurangi secara efektif. Partikel berukuran besar akan tertahan pada media penyaring sedangkan partikel koloid dan mikroorganisme yang berukuran lebih kecil tidak seluruhnya dapat tersaring. Rongga di antara butiran media berfungsi sebagai tempat pengendapan partikel halus sementara partikel koloid dapat tertahan akibat adanya gaya elektrokinetik.

Tidak semua zat terlarut mampu membentuk flok sehingga sebagian masih terbawa menuju unit filtrasi untuk kemudian dipisahkan oleh media penyaring. Oleh karena itu, filtrasi sederhana berperan dalam menurunkan konsentrasi berbagai kontaminan seperti bakteri, warna, rasa, bau, kesadahan, besi, aluminium, zat organik, nitrit, nitrat, sulfat, klorida, dan seng. Dengan demikian, kualitas air yang dihasilkan dapat memenuhi persyaratan sebagai air bersih maupun sebagai sumber air baku untuk air minum (Annisa 2021). Berdasarkan kecepatan penyaringannya, filtrasi dibedakan menjadi dua metode yaitu saringan pasir cepat (*rapid sand filter*) dan saringan pasir lambat (*slow sand filter*). *Rapid sand filter* bekerja dengan laju penyaringan yang lebih tinggi dibandingkan *slow sand filter* sehingga mampu menghasilkan debit air yang lebih besar serta efektif mengurangi padatan tersuspensi dan tingkat kekeruhan.

Sistem ini umumnya memerlukan media penyaring dalam jumlah lebih banyak dan dilengkapi dengan jaringan pipa serta katup untuk mengatur aliran air masuk maupun keluar. Sebaliknya, *slow sand filter* menggunakan media pasir atau media campuran (multimedia) untuk mengolah air permukaan tanpa melalui proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Pengoperasiannya tidak memerlukan penambahan bahan kimia namun akan bekerja lebih optimal pada kecepatan aliran

yang rendah dan stabil sehingga aktivitas biologis pada media filtrasi dapat berlangsung dengan baik. Mekanisme penyisihan kontaminan pada metode ini melibatkan proses fisik, biologis, dan biokimia yang dibantu oleh mikroorganisme yang berkembang pada media penyaring.

Berbagai jenis media dapat digunakan dalam proses filtrasi di antaranya pasir silika, zeolit, karbon aktif, dan *bio ceramic ball*. Pasir silika merupakan material yang tersusun atas kristal silika (SiO_2) dan banyak dimanfaatkan sebagai media penyaring air. Selain itu, *bio ceramic ball* juga sering digunakan terutama pada sistem *reverse osmosis* (RO). Media ini terbuat dari serbuk keramik yang dibentuk menjadi butiran berukuran relatif besar dan berfungsi membantu meningkatkan kualitas air, terutama dengan memperbaiki rasa sehingga air menjadi lebih segar saat dikonsumsi.

d. Tangki Penyimpanan (*Storage Tank*)

Tangki penyimpanan berfungsi sebagai tempat penampungan air hujan yang telah dikumpulkan dari sistem pemanenan air hujan. Material yang digunakan untuk pembuatan tangki sebaiknya bersifat *inert* agar tidak memengaruhi kualitas air, seperti beton bertulang, *fiberglass*, maupun stainless steel (Tan dan Wora 2021). Menurut Bahry *et al.* (2021), tangki penyimpanan yang umum diterapkan terdiri atas tiga jenis yaitu tangki yang ditempatkan di atas permukaan tanah, tangki yang dipasang di bawah permukaan tanah, serta tangki yang berada di dalam atau pada bagian atas bangunan sebagai tempat penyimpanan air.

2.6 Sistem Plumbing Air Bersih

Sistem *plumbing* merupakan jaringan perpipaan dalam suatu bangunan yang berfungsi untuk mengalirkan air bersih, menyalurkan air limbah, serta mengelola air hujan (Rosyadi *et al.* 2023). Berdasarkan SNI 8153:2015, *plumbing* didefinisikan sebagai seluruh pekerjaan yang berkaitan dengan pemasangan jaringan pipa beserta perlengkapannya di dalam bangunan yang berhubungan dengan penyediaan air minum. Secara umum, sistem penyediaan air bersih pada bangunan dibedakan menjadi beberapa jenis sebagai berikut.

a. Sistem Sambungan Langsung

Sistem sambungan langsung merupakan metode distribusi air bersih yang menghubungkan jaringan perpipaan di dalam bangunan secara langsung dengan pipa distribusi utama dari penyedia air. Penerapan sistem ini umumnya dijumpai pada bangunan hunian berukuran kecil karena tekanan air dari jaringan utama masih mampu memenuhi kebutuhan pemakaian tanpa memerlukan fasilitas penampungan.

b. Sistem Tangki Atap

Pada sistem tangki atap, air dari sumber penyedia terlebih dahulu ditampung di dalam tangki bawah (*ground tank*). Selanjutnya, air dipompa menuju tangki yang ditempatkan di bagian paling atas bangunan. Dari tangki tersebut, air didistribusikan ke seluruh titik pemakaian dengan memanfaatkan gaya gravitasi sehingga kebutuhan air bersih dapat terpenuhi secara merata.

c. Sistem Tangki Tekan

Sistem tangki tekan diterapkan apabila penggunaan sistem sambungan langsung tidak memungkinkan. Air yang tersimpan di dalam tangki bawah dipompa ke tangki tertutup yang berisi udara bertekanan. Tekanan udara tersebut digunakan untuk mendorong air ke jaringan distribusi bangunan sedangkan proses pengoperasian pompa berlangsung secara otomatis melalui pengendalian sensor tekanan.

d. Sistem Tanpa Tangki

Sistem tanpa tangki merupakan sistem distribusi air yang tidak menggunakan fasilitas penyimpanan baik berupa tangki bawah, tangki atap, maupun tangki tekan. Air dipompa secara langsung dari jaringan distribusi utama seperti jaringan PAM menuju instalasi perpipaan di dalam bangunan sehingga penyaluran air berlangsung tanpa proses penampungan terlebih dahulu.

2.7 Penelitian Sebelumnya

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perancangan sistem pemanenan air hujan metode *roof cathment* di Bogor efektif dalam mengurangi penggunaan air tanah atau PDAM dan efisien dalam menekan biaya operasional penggunaan air. Pengolahan air dengan filtrasi juga efektif dalam menurunkan kadar pencemar dalam air terutama untuk parameter fisik seperti warna dan kekeruhan berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Tabel 5).

Tabel 5 Studi literatur teknologi filtrasi pengolahan air hujan

No	Penulis	Judul	Hasil
1	Annisa (2021)	QN Peningkatan kualitas air hujan sebagai sumber air minum melalui metode filtrasi dan adsorpsi	Ketebalan media filtrasi berpengaruh terhadap efektivitas penurunan parameter kualitas air hujan. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi media pasir silika 20 cm, zeolit 40 cm, dan karbon aktif 40 cm memberikan kinerja penyisihan yang efektif. Pada ketebalan pasir silika 20 cm diperoleh rata-rata penurunan tertinggi, yaitu kesadahan sebesar 30,4722 mg/L (68,9%), nitrit sebesar 0,00394 mg/L (51,2%), nitrat sebesar 0,4639 mg/L (48,3%), dan sulfat sebesar 0,7794 mg/L (94%).
2	Harianja <i>et al.</i> (2026)	Pengolahan air hujan menjadi air layak minum menggunakan metode filtrasi	Efektif dalam menurunkan kadar suhu, timbal terlarut, aluminium, dan warna. Filtrasi dengan pipa sepanjang 120 cm diameter 5 inch lebih efektif dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan kadar TDS dibandingkan dengan pipa sepanjang 30 cm dengan diameter 5 inch.

Tabel 5 Studi literatur teknologi filtrasi pengolahan air hujan (*lanjutan*)

No	Penulis	Judul	Hasil
3	Untari dan Kusnadi (2015)	Pemanfaatan air hujan sebagai air layak konsumsi di kota malang dengan metode modifikasi filtrasi sederhana	Sistem filtrasi berupa spons dan kapas setebal 3,80 cm, pasir halus 20 mesh setinggi 3,80 cm, pasir kasar 4-8 mesh setinggi 2,50 cm, kerikil kecil 8-10 mesh setinggi 2,50 cm, lapisan kapas dan ijuk setebal 3,80 cm, GAC 6-8 mesh setinggi 3,80 cm, lapisan kapas dan ijuk setebal 3,80 cm, zeolit ukuran 16-32 mesh setinggi 3,80 cm, serta kerikil besar ukuran 16-32 mesh setinggi 2,50 cm terbukti mampu mengurangi tingkat kekeruhan dari 1,05 NTU menjadi 1,02 NTU.
4	Saputra <i>et al.</i> (2025)	Penerapan sistem filtrasi air hujan sebagai sumber air bersih alternatif di RT 29 Sungai Tengkorak Kelurahan Keramasan.	Sistem filtrasi dua tahap antara metode konvensional dengan media ijuk, pasir kuarsa, batu kapur, serta filtrasi <i>modern</i> yang menggunakan sistem tabung filter bertekanan rendah (<i>low-pressure filtration</i>) dengan media PP, CTO, dan GAC terbukti mampu memperbaiki kualitas air dengan menurunkan tingkat kekeruhan dari 3,72 NTU menjadi 1,42 NTU, konduktivitas dari 149 $\mu\text{S}/\text{cm}$ menjadi 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dan padatan terlarut (TDS) dari 101,3 mg/L menjadi 20,7 mg/L.
5	Wahyudi (2021)	Pemanfaatan air hujan sebagai sumber air bersih dengan menggunakan filter serbuk keramik.	Filtrasi media filter dengan karbon aktif 25 cm, serbuk keramik 25 cm, pasir vulkanik 15 cm, dan kerikil 10 cm mampu menurunkan warna dari 78 TCU menjadi 36 TCU, kadmium menjadi 0,045 mg/L, dan zat organik (KMnO_4) dari 11,10 mg/L menjadi 6,94 mg/L.

Tabel 5 Studi literatur teknologi filtrasi pengolahan air hujan (*lanjutan*)

No	Penulis	Judul	Hasil
6	Nurul (2021)	Peningkatan kualitas air hujan sebagai sumber air minum melalui metode filtrasi sederhana	Filtrasi dengan media karbon aktif, pasir, dan zeolit mampu menurunkan TDS sebesar 73,9%, kekeruhan sebesar 93,2%, dan pH sebesar 72,4%.
7	Rahmawati <i>et al.</i> (2026)	Sosialisasi penggunaan air hujan sebagai air baku bagi rumah tangga di Desa Kedungadem Kecamatan Kedungadem Bojonegoro.	Sistem filtrasi <i>multistage</i> dari media pecahan tembikar dan bioring mampu mereduksi turbiditas dari 6,33 NTU menjadi 1,72 NTU dilokasi 1, 2,69 NTU sampai 1,93 NTU dilokasi 2, 2,71 NTU sampai 1,91 NTU dilokasi 3, dan 3,61 NTU sampai 1,59 NTU dilokasi 4. Penurunan parameter Besi (Fe) dari 0,3 mg/L menjadi 0,05 mg/L dilokasi 1, dari 0,1 mg/L menjadi 0,06 mg/L dilokasi 2, 0,3 menjadi 0,03 mg/L dilokasi 3, tetapi mengalami kenaikan dilokasi 4 dari 0,02 mg/L menjadi 0,04 mg/L.
8	Pahilda <i>et al.</i> (2017)	Studi efisiensi pengolahan air hujan menjadi air minum menggunakan reaktor kombinasi filter <i>treated</i> natural zeolit, karbon aktif, dan <i>melt blown filter cartridge</i> .	Sistem filtrasi dengan media TNZ RC.32-cartridge granular karbon aktif dan <i>melt blown filter cartridge</i> berukuran 3 mikrometer mampu menurunkan tingkat kekeruhan sebesar 99,75%, kadar <i>Total Dissolved Solids</i> (TDS) sebesar 22,22%, nilai pH air hujan menjadi 7,00.
9	Nurdin <i>et al.</i> (2019)	Model pemanenan dan pengolahan air hujan menjadi air minum	Filtrasi dengan susunan media dakron, kertas saring, dan kerikil serta serbuk-serbuk sodium bikarbonat sebanyak 0,1g/l menaikkan nilai pH dari 6,41 menjadi 7,19, warna mengalami penurunan dari 30 TCU menjadi 7,5 TCU, dan kekeruhan mengalami penurunan dari 10,2 NTU menjadi 1,66 NTU.

Berdasarkan Tabel 5, diketahui bahwa penggunaan filtrasi untuk pengolahan air hujan khususnya dikawasan industri terutama terkait parameter kimia dan logam belum diteliti lebih lanjut. Dengan demikian, penelitian ini sebagai perkembangan dari penelitian yang sudah ada yaitu pengolahan air hujan kawasan industri dengan filtrasi.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



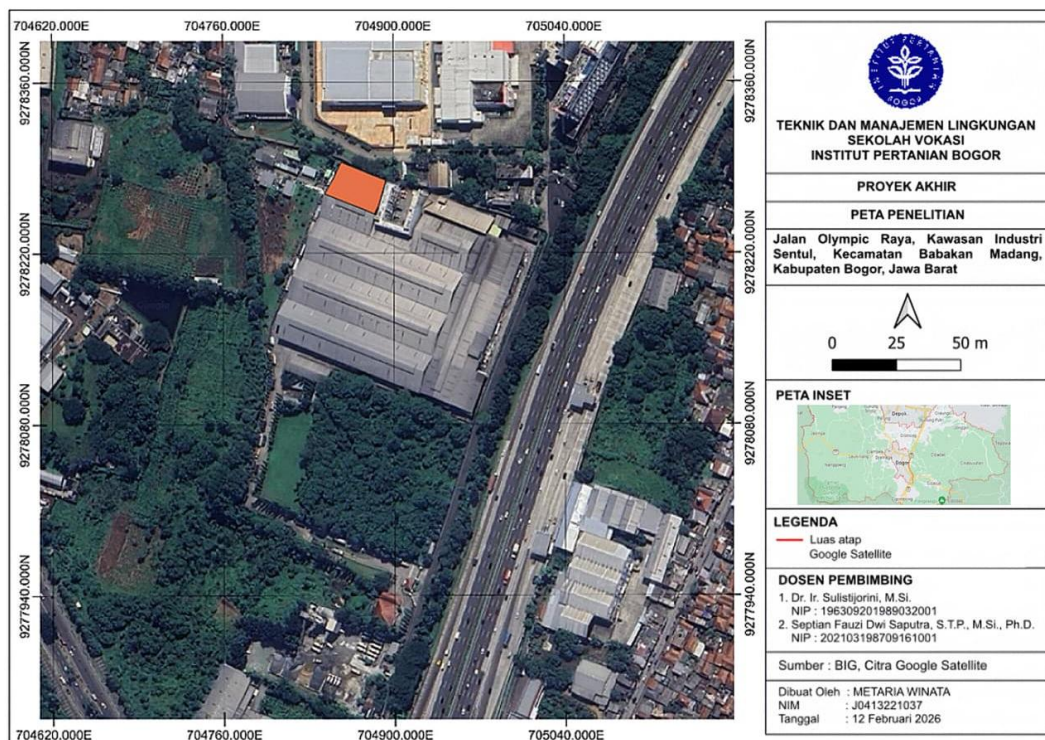
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

III METODE

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan dari bulan Desember 2025 sampai bulan Mei 2026. Penelitian dilakukan di industri kemasan berbahan dasar kardus yang terletak di Kawasan Industri Sentul, Kecamatan Babakan Madang, Kabupaten Bogor, Jawa Barat (Gambar 3).



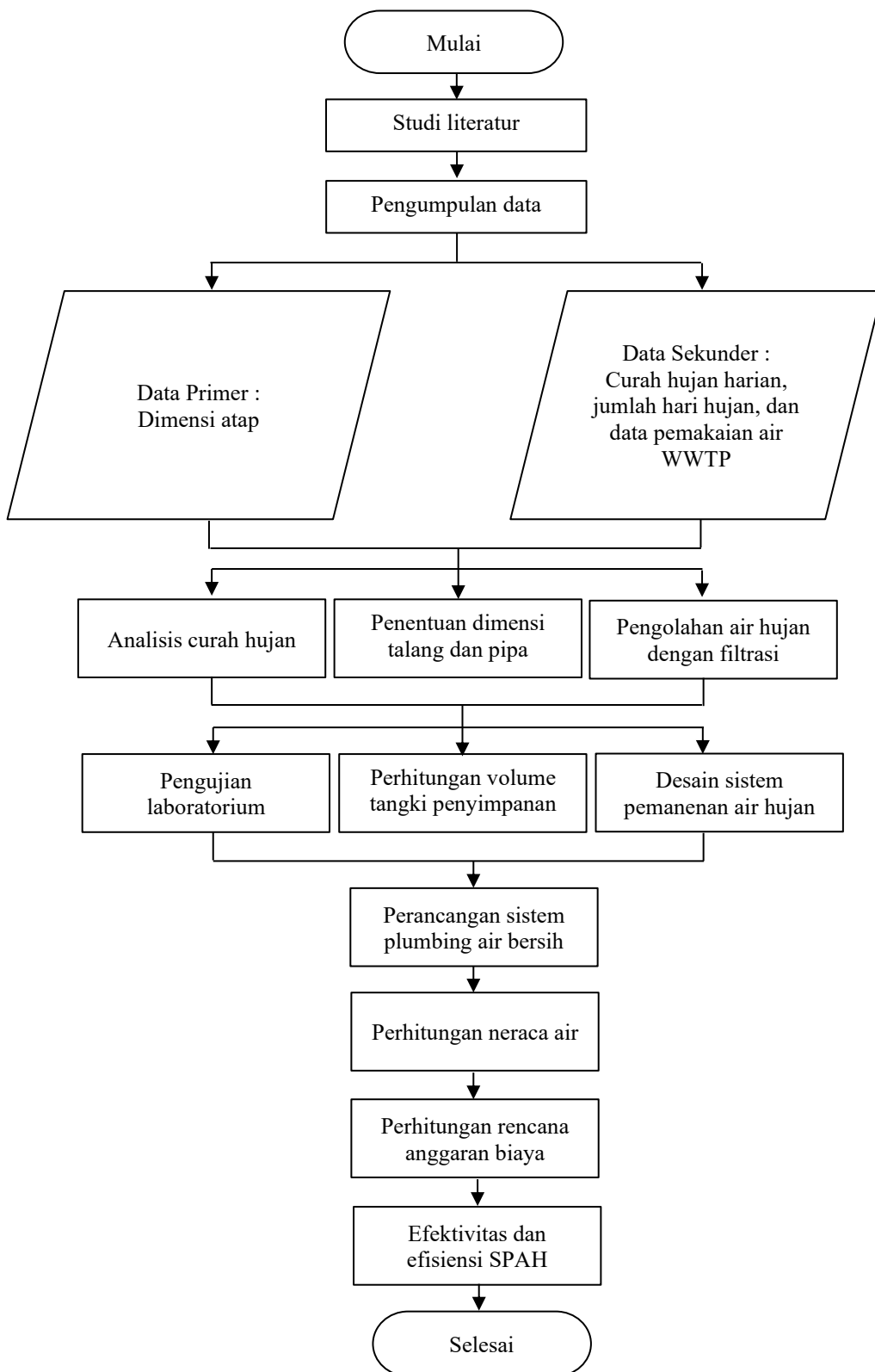
Gambar 3 Lokasi penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis, meteran, laptop, jerigen 15 L, ember 20 L, pipa PVC 3 inch, dan aksesoris pipa 3 inch. Bahan yang diperlukan adalah air hujan, silika, *bio ceramic ball*, dan spons.

3.3 Prosedur Kerja

Penelitian dilakukan secara sistematis dan terstruktur. Setiap tahapan penelitian dilaksanakan secara berurutan mulai dari studi literatur sampai analisis dan perencanaan (Gambar 4).



Gambar 4 Diagram alir penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Penelitian dimulai dengan studi literatur penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya. Data dan informasi tersebut diperoleh dari buku-buku laporan penelitian dan jurnal yang berkaitan.

3.3.2 Pengumpulan Data

Data primer berupa dimensi atap sedangkan data sekunder berupa data curah hujan harian dan jumlah hari hujan selama 30 tahun yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Jawa Barat serta jumlah pemakaian air tanah perusahaan serta pemakaian air kebutuhan *hygiene* dan sanitasi WWTP.

3.3.3 Analisis Curah Hujan

Perhitungan curah hujan rencana dengan metode distribusi Gumbel, Log Normal, Log Pearson III, dan Normal pada persamaan (1), (3), (4), dan (5).

(a) Distribusi Gumbel

$$X_{Tr} = \bar{X} + K.Sd \quad (1)$$

$$K = \frac{Y_{TR} - Y_n}{S_n} \quad (2)$$

(b) Distribusi Log Normal

$$\text{Log } X_{Tr} = \text{Log } \bar{X} + K_T.Sd \quad (3)$$

(c) Distribusi Log Pearson III

$$\text{Log } X_{Tr} = \text{Log } \bar{X} + K_T.Sd \quad (4)$$

(d) Distribusi Normal

$$X_{Tr} = \bar{X} + K.Sd \quad (5)$$

Keterangan :

X_{Tr} = curah hujan rencana periode ulang t tahunan (mm)

$\bar{X}$ = rata-rata curah hujan harian maksimum tahunan (mm/hari)

K = faktor frekuensi gumbel

Sd = standar deviasi

K_T = faktor frekuensi

X_i = data curah hujan ke- n

n = banyaknya data

Y_{TR} = *reduced variate*

Y_n = *reduce mean* (tergantung banyaknya n)

S_n = *reduce standard deviation* (tergantung banyaknya n)

Keempat metode distribusi tersebut memiliki syaratnya masing-masing dalam penggunaannya sehingga harus dilakukan pengecekan data untuk mengetahui distribusi mana yang memenuhi untuk digunakan (Tabel 6).

Tabel 6 Syarat nilai parameter statistik distribusi probabilitas

No	Jenis distribusi	Syarat
1	Gumbel	$C_s \leq 1,1396$; $C_k \leq 5,4002$
2	Log Normal	$C_s = 0$; $C_k = 3$
3	Log Pearson III	$C_s \neq 0$; $C_k = 1,5C_s(\ln x)^2 + 3 = 3,001$
4	Normal	$C_s = 3C_v + C_v^2 = 3$; $C_k = 5,383$

Sumber: Suripin (2004)

Nilai Cs untuk metode distribusi Gumbel dan Normal dihitung dengan persamaan (6) dan (7) untuk metode distribusi Log Normal dan Log Pearson III. Nilai Ck untuk metode distribusi Gumbel dan Normal dapat dihitung dengan persamaan (8) dan (9) untuk metode distribusi Log Normal dan Log Pearson III. Koefisien variansi (Cv) dihitung dengan persamaan (10). Nilai Sd untuk metode distribusi Gumbel dan Normal dapat dihitung dengan persamaan (11) dan (12) untuk metode distribusi Log Normal dan Log Pearson III.

(a) Koefisien *Skewness* (Cs)

$$Cs = \frac{n \times \Sigma (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (6)$$

$$Cs = \frac{n \times \Sigma (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (7)$$

(b) Koefisien Keruncingan (Ck)

$$Ck = \frac{n^2 \times \Sigma (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-4)S^4} \quad (8)$$

$$Ck = \frac{n^2 \times \Sigma (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-4)S^4} \quad (9)$$

(c) Koefisien Variansi (Cv)

$$Cv = \frac{s}{\bar{X}} \quad (10)$$

(d) Standar Deviasi (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (11)$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\Sigma_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (12)$$

Keterangan :

Cs = koefisien *skewness*

Ck = koefisien keruncingan

Cv = koefisien variansi

n = banyaknya data

X_i = data curah hujan ke-n

$\bar{X}$ = rata-rata curah hujan harian maksimum tahunan (mm/hari)

Sd = standar deviasi

Pengujian Smirnov-Kolmogorov dan Chi-Kuadrat digunakan persamaan (13) dan (14) (Upomo dan Kusumawardani 2016). Derajat kebebasan dan jumlah kelas dihitung dengan persamaan (15) dan (16).

$$E_i = \frac{n}{K} \quad (13)$$

$$X^2 = \Sigma_{i=1}^K \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (14)$$

$$dk = K - (\alpha + 1) \quad (15)$$

$$K = 1 + (3,332 \times \text{Log } n) \quad (16)$$

Keterangan :

E_i : frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelas

O_i : frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

X^2 : nilai Chi-Kuadrat

K : jumlah kelas

dk : derajat kebebasan

α : jumlah parameter

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov disebut juga uji kecocokan nonparametrik karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Uji Smirnov-Kolmogorov memiliki nilai kritis D_0 (Tabel 7).

Tabel 7 Nilai kritis D_0 untuk uji Smirnov-Kolmogorov

Jumlah data (N)	Derajat kepercayaan			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
> 50	1,07	1,22	1,36	1,63
	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$

Sumber: SNI 2415:2016

Nilai peluang yang akan digunakan untuk memperoleh garis distribusi peluang dapat diketahui berdasarkan data pada tabel nilai derajat kepercayaan (Tabel 8).

Tabel 8 Nilai derajat kepercayaan Chi-Kuadrat

dk	Taraf signifikansi (α)					
	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.25
1	7.879	6.615	5.024	3.841	2.706	0.9
2	10.597	9.21	7.378	5.991	4.605	2.773
3	12.858	11.345	9.348	7.815	6.251	4.108
4	14.86	13.277	11.143	9.488	7.779	5.385
5	16.75	15.086	12.833	11.07	9.236	6.635
6	18.548	16.812	14.449	12.592	10.645	7.841
7	20.278	18.475	16.013	14.067	12.017	9.037
8	21.955	20.09	17.535	15.507	13.362	10.219
9	23.589	21.666	19.023	16.919	14.684	11.389
10	25.188	23.209	20.483	18.307	15.987	12.549
11	26.757	24.725	21.92	19.675	17.275	13.701
12	28.300	26.217	23.337	21.026	18.549	14.845
13	29.819	27.688	24.736	22.362	19.812	15.984
14	31.319	29.141	26.118	23.685	21.064	17.117
15	32.801	30.578	27.488	24.996	22.307	18.247
16	34.267	31.999	28.845	26.296	23.542	19.369
17	35.718	33.409	30.191	27.587	24.769	20.483
18	37.156	34.805	31.526	28.869	25.989	21.605
19	38.582	36.191	32.852	30.144	27.204	22.718
20	39.997	37.566	34.171	31.41	28.412	23.828

Sumber: Suripin (2004)

Keterangan: dk = derajat kebebasan

3.3.4 Perhitungan Intensitas Hujan

Intensitas hujan dihitung dengan mengambil nilai curah hujan rencana pada periode ulang tertentu dari metode distribusi terpilih. Perhitungan intensitas curah hujan menggunakan persamaan Mononobe. Perhitungan intensitas hujan menggunakan persamaan (17) dengan waktu konsentrasi menggunakan persamaan (18).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{tc} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (17)$$

$$tc = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right) \times 0,345 \quad (18)$$

Keterangan :

I : intensitas hujan (mm/jam)

R_{24} : curah hujan rencana periode ulang t tahunan (mm)

tc : waktu konsentrasi (jam)

L : panjang saluran (m)

S : kemiringan saluran

Periode ulang ditentukan berdasarkan tipologi kota yang termuat dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan (Tabel 9).

Tabel 9 Periode ulang untuk tipologi kota tertentu

Tipologi Kota	Daerah tangkapan air (Ha)			
	<10	10 - 100	101 - 500	>500
Kota Metropolitan	2 tahun	2 – 5 tahun	5 – 10 tahun	10 – 25 tahun
Kota Besar	2 tahun	2 – 5 tahun	2 – 5 tahun	5 – 20 tahun
Kota Sedang	2 tahun	2 – 5 tahun	2 – 5 tahun	5 – 10 tahun
Kota Kecil	2 tahun	2 tahun	2 tahun	2 – 5 tahun

Sumber: BSN 2002

3.3.5 Perhitungan Debit Limpasan

Debit limpasan dihitung dengan metode rasional yang ditunjukkan pada persamaan (19).

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (19)$$

Keterangan :

Q : debit limpasan (m³/detik)

C : koefisien limpasan permukaan

I : intensitas hujan (mm/jam)

A : luas daerah tangkapan hujan (Km²)

Luas atap diperoleh dari hasil pengukuran dilapangan. Koefisien limpasan menggambarkan proporsi air hujan yang berubah menjadi limpasan permukaan. Koefisien limpasan permukaan mengacu pada SNI 2415:2016 tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana. Koefisien limpasan permukaan berbeda-beda tiap permukaan (Tabel 10).

Tabel 10 Koefisien limpasan permukaan

Kondisi permukaan	Koefisien limpasan permukaan
Jalan aspal	
Aspal dan beton	0,75 – 0,95
Batu bata dan batako	0,70 – 0,85
Atap rumah	0,70 – 0,95
Halaman berumput, tanah pasir	
Datar 2%	0,05 – 0,10
Rata-rata 2 – 7%	0,10 – 0,15
Curam 7% atau lebih	0,15 – 0,20
Halaman berumput, tanah pasir padat	
Datar 2%	0,13 – 0,17
Rata-rata 2 – 7%	0,18 – 0,22
Curam 7% atau lebih	0,25 – 0,35

Sumber: SNI 2415:2016

3.3.6 Analisis Dimensi Talang dan Perpipa

Perencanaan talang dan sistem perpipaian diatur dalam SNI 03-7065-2005 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing (Tabel 11).

Tabel 11 Beban maksimum yang diizinkan untuk talang (dalam m² luas atap)

Ukuran pipa (mm)	Pipa tegak	Kemiringan						
		Pipa datar			Talang atap datar terbuka			
		1%	2%	4%	½%	1%	2%	4%
50	63							
65	120							
80	200	75	105	105	15	20	30	40
100	425	170	245	345	30	45	65	90
125	800	310	435	620	55	80	115	160
150	1290	490	700	990	85	125	175	250
200	2690	1065	1510	2135	180	260	365	520
250		1920	2710	3845	330	470	665	945
300		3090	4365	6185				
350		5525	7800	11055				

Sumber: SNI 03-7065-2005

Kapasitas hidrolik dihitung menggunakan persamaan Manning (20).

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (20)$$

Keterangan :

- Q : debit aliran ((m³/s)
 n : koefisien kekasaran *Manning*
 A : luas penampang basah (m²)
 R : radius hidrolik (m)
 S : kemiringan saluran

Radius hidrolis dihitung dengan persamaan (21).

$$R = \frac{A}{P} \quad (21)$$

Keterangan :

A : luas penampang basah (m^2)

P : keliling basah (m)

3.3.7 Perancangan Filtrasi

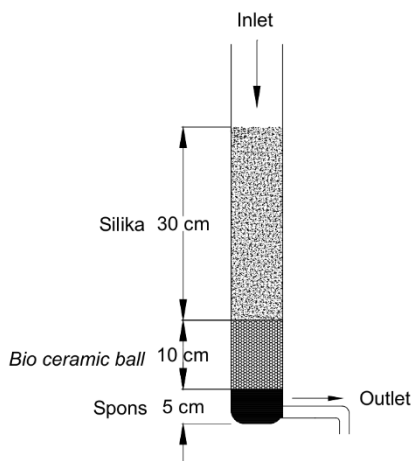
Terdapat berbagai jenis filtrasi seperti filter plat dan bingkai (*plate and frame*), filter gravitasi (*gravity filter*), filter bertekanan (*filter press*) dan *batch leaf filter* (Saputra *et al.* 2025). Perancangan filtrasi berdasarkan kriteria desain (Tabel 12).

Tabel 12 Kriteria desain filtrasi

No	Parameter	Desain	Satuan
Bak filtrasi			
1	Kecepatan aliran pipa	0,6 – 1,5	m/s
2	Kecepatan penyaringan (v)	6 – 11	m/jam
3	Perbandingan bak filtrasi	1:2	
4	Massa jenis air (ρ)	996,36	Kg/ m^3
5	Viskositas kinematik (ν)	0,8036 x 10 ⁻⁶	m^2/s
6	Viskositas dinamik (μ)	0,8363 x 10 ⁻³	Ns/ m^2
7	Rate filtrasi	4,08	L/s. m^2
Sistem manifold			
8	Jarak antar <i>manifold</i>	7,5 – 30	cm
9	Jarak antar <i>lateral</i>	7,5 – 30	cm
10	Jarak antar <i>orifice</i>	7,5 – 30	cm
11	Diameter <i>orifice</i>	0,6 – 2	cm
12	Jarak antar <i>manifold</i> dengan dinding	20	cm
Backwash			
13	Kecepatan pencucian	45	m/jam
14	Durasi <i>backwash</i> (tbw)	10	menit

3.3.8 Pengolahan Air Hujan

Pengolahan air hujan dilakukan dengan teknologi filtrasi. Pada tahap ini, dilakukan pemanenan air hujan untuk diolah yang ditampung menggunakan ember penampungan. Sebelum pengolahan, dilakukan perancangan dan perakitan. Perancangan sistem diawali dengan mengumpulkan data mutu air hujan di kawasan industri dari literatur terdahulu serta uji mutu air hujan dilaboratorium untuk memahami parameter yang perlu ditangani. Selanjutnya, dilakukan pemilihan teknologi yang sesuai untuk menangani parameter berlebih. Filtrasi yang dirancang disusun dengan media spons 5 cm, *bio ceramic ball* 10 cm, dan silika 30 cm (Gambar 5).



Gambar 5 Rancangan uji coba filtrasi

3.3.9 Pengujian Laboratorium Sebelum dan Sesudah Pengolahan

Pada tahapan ini dilakukan pengujian kualitas air dengan parameter-parameter yang diuji ialah parameter terpilih air bersih untuk *hygiene* dan sanitasi yaitu suhu, bau, warna, kekeruhan, pH, nitrat terlarut, dan besi terlarut. Air yang diuji ialah air hujan sebelum dilakukan pengolahan dan air setelah dilakukan pengolahan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Industri Pertanian untuk parameter warna, kekeruhan, nitrat (sebagai NO_3) terlarut, dan besi (Fe) terlarut serta pengujian mandiri untuk parameter pH, suhu, dan bau.

3.3.10 Analisis Parameter Uji

a) Analisis Kesesuaian Kualitas dengan Baku Mutu Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023

Data yang dibutuhkan ialah data uji laboratorium mutu air hujan sebelum dilakukan pengolahan dan data uji laboratorium mutu air setelah dilakukan pengolahan. Output yang dihasilkan dari analisis ini ialah tabel kesesuaian hasil uji kualitas air dengan standar mutu air tujuan *hygiene* sanitasi yang diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023. Mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023, air untuk tujuan *hygiene* sanitasi ialah air yang dipergunakan untuk *hygiene* pribadi dan/atau rumah tangga. Terdapat 13 parameter wajib untuk baku mutu air bersih keperluan *hygiene* serta sanitasi.

b) Uji Efektivitas Alat dalam Mengurangi Kadar Pencemar

Dalam penelitian ini dilakukan analisis uji efektivitas alat dalam mengurangi parameter pencemar. Data yang dibutuhkan ialah data hasil uji laboratorium mutu air hujan sebelum dilaksanakan filtrasi dan hasil uji laboratorium mutu air setelah dilakukan filtrasi.

Tingkat efektivitas alat dalam menurunkan konsentrasi parameter pencemar dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan (22) (Sattuang *et al.* 2020):

$$\text{Efektivitas (\%)} = (A_0 - A_n) / A_0 \times 100\% \quad (22)$$

Keterangan:

A₀ : kadar pencemar sebelum dilaksanakan pengolahan
 A_n : kadar pencemar sesudah dilaksanakan pengolahan

3.3.11 Analisis Dimensi Tangki Penyimpanan

a) Curah Hujan Andalan

Curah hujan andalan dapat ditentukan melalui perhitungan probabilitas dengan metode *Weibull* menggunakan persamaan (23).

$$P(\%) = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (23)$$

Keterangan:

P : probabilitas (%)
 m : nomor urut data
 n : jumlah data yang digunakan

Menghitung nilai curah hujan andalan 80% (R80) sebagai acuan untuk menentukan curah hujan andalan dengan persamaan (24):

$$R80 = \frac{n}{5} + 1 \quad (24)$$

Keterangan :

R80 : curah hujan andalan 80%
 n : jumlah data

b) Suplai Air Hujan dan Volume Tangki Penyimpanan

Suplai air hujan dan volume tangki penyimpanan harus dihitung untuk mengetahui besarnya potensi penghematan air bersih yang dapat dilakukan. Suplai air hujan diperoleh dari perhitungan curah hujan andalan 80% melalui persamaan (25) dan volume tangki penyimpanan pada persamaan (26).

$$S = A \times R \times C \quad (25)$$

$$V = S - Ab \quad (26)$$

Keterangan :

S : suplai air hujan (m³)
 A : luas atap bangunan (m²)
 R : curah hujan harian (mm)
 C : koefisien limpasan permukaan
 V : volume tangki penyimpanan (mm)
 Ab : kebutuhan air bersih harian (m³)

3.3.12 Desain Sistem Pemanenan Air Hujan (PAH)

Sistem pemanenan air hujan (PAH) dirancang menggunakan *software* AutoCAD. Gambar desain meliputi tampak depan dan tampak samping.

3.3.13 Perancangan Sistem *Plumbing* Air Bersih

Perancangan sistem *plumbing* air bersih berfokus pada operasional WWTP di industri kemasan berbahan dasar kardus. Adapun peruntukkan air bersih antara lain air baku pengolahan air limbah yang meliputi tangki koagulan dan tangki flokulan kemudian peruntukan *hygiene* dan sanitasi seperti pencucian tangan atau pencucian peralatan dan area WWTP.

(a) Perhitungan Kebutuhan Air

Pemakaian air yang dipakai adalah pemakaian air rata-rata sehari (Q_d). Pemakaian air rata-rata sehari perjam diperoleh dari pemakaian air rata-rata sehari dibagi dengan jangka waktu puncak pemakaian pemakaian. Menurut Noerbambang dan Morimura (2005), berikut ini merupakan rumus perhitungan untuk pemakaian air rata-rata, pemakaian air rata-rata per hari, pemakaian air pada jam puncak, dan pemakaian air per menit pada jam puncak berturut-turut ditunjukkan pada persamaan (27), (28), (29), dan (30).

(1) Pemakaian air rata-rata

$$Q_h = Q_d / T \quad (27)$$

(2) Pemakaian air rata-rata sehari

$$Q_d = \text{Jumlah populasi} \times \text{pemakaian air per hari} \times \text{frekuensi pemakaian per hari} \quad (28)$$

(3) Pemakaian air di jam puncak

$$Q_{h-max} = (c1)(Q_h) \quad (29)$$

(4) Pemakaian air di menit puncak

$$Q_{m-max} = (c2)(Q_h/60) \quad (30)$$

Keterangan :

Q_h : pemakaian air rata-rata (m^3/jam)

Q_d : pemakaian air rata-rata sehari (m^3)

T : jangka waktu puncak pemakaian (jam)

(b) Perhitungan Tekanan Air dan Kecepatan Aliran

Secara umum, tekanan air standar biasanya adalah sekitar $1,0 \text{ kg/cm}^2$. Besar tekanan air yang diperlukan untuk peralatan plumbing dapat berbeda-beda tergantung pada jenis alatnya (Tabel 13).

Tabel 13 Tekanan yang dibutuhkan alat *plumbing*

No	Nama alat <i>plumbing</i>	Tekanan yang diperlukan (kg/cm^2)
1	Katup gelontor kloset	0,7
2	Katup gelontor peturasan	0,4
3	Kran yang menutup otomatis	0,7
4	Pancuran mandi, dengan pancaran air halus	0,7
5	Pancuran mandi biasa	0,35
6	Kran biasa	0,3

Sumber: SNI 03-7065-2005 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem *Plumbing*

(c) Penentuan Diameter Pipa

Pipa yang dirancang adalah pipa yang menghubungkan tangki penyimpanan dengan alat *plumbing*. Nilai kecepatan maksimum air pada pipa (V_{max}) diasumsikan adalah sebesar 2 m/detik (Lilipaly *et al.* 2021). Diameter pipa dihitung dengan persamaan (31).

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_{h-max}}{\pi \times 2 \text{ m/s}}} \quad (31)$$

Keterangan:

D : Diameter pipa (mm)

Qh-max : Kebutuhan air di jam puncak (m³/detik)

(d) Perhitungan *Head* dan Penentuan Spesifikasi Pompa

Kebutuhan *head* untuk penentuan spesifikasi pompa dihitung dengan persamaan (32) (Tamimah *et al.* 2026).

$$H = \text{Head statis} + \text{mayor losses} + \text{minor losses} \quad (32)$$

Keterangan :

H : *Head* (m)

Head statis pompa merupakan selisih ketinggian antara permukaan cairan disisi keluaran dan permukaan cairan di sisi hisap yang dapat dihitung dengan persamaan (33) (Bakhtiar 2024).

$$H_s = \text{Elevasi 2} - \text{Elevasi 1} \quad (33)$$

Keterangan :

Hs : *head statis* (m)

Z2 : *head statis* pada sisi *discharge*/keluar (m)

Z1 : *head statis* pada sisi *suction*/hisap (m)

Mayor losses dan *minor losses* dihitung menggunakan persamaan (34) dan (35).

$$HL = \left(\frac{Q}{0,2875 CD^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \quad (34)$$

$$H_f = k \frac{v^2}{2g} \quad (35)$$

Keterangan :

HL = *mayor losses*

Hf = *minor losses*

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

v = kecepatan (m/s)

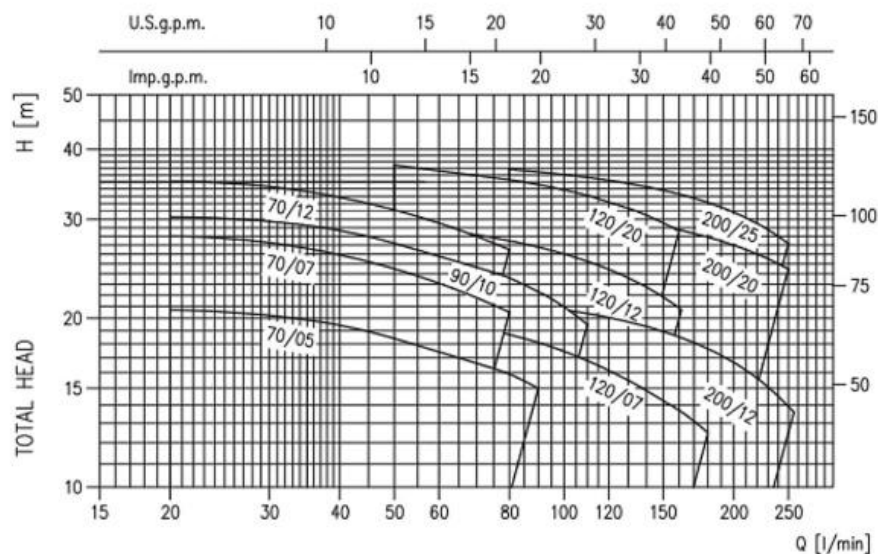
g = gravitasi bumi (m/s²)

Q = debit (m³/s)

C = Koefisien Hazen-Williams

k = koefisien *minor losses*

Kapasitas pompa dapat ditentukan berdasarkan nilai Qpu (liter/menit) menggunakan grafik pompa dengan besar kapasitas pompa pengisi memiliki nilai sama besar dengan nilai Qh-max (Nurpradipta dan Putra 2017) (Gambar 6).



Gambar 6 Grafik pompa berdasarkan debit

3.3.14 Diagram Neraca Air

Neraca air menggambarkan pemakaian air perusahaan setelah pemanenan air hujan dalam bentuk diagram. Neraca air memuat jumlah pemakaian air gabungan air tanah dengan air hujan yang sudah dipanen sehingga bisa dilihat jumlah air hujan yang bisa menggantikan pemakaian air tanah.

3.3.15 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) konstruksi

Penyusunan rencana anggaran biaya (RAB) konstruksi dihitung berdasarkan harga komponen yang berlaku di pasaran saat ini dan harga satuan pokok (HSP) Kabupaten Bogor tahun 2025.

3.3.16 Perhitungan Efektivitas dan Efisiensi Sistem Pemanenan Air Hujan

Perhitungan efektivitas sistem pemanenan air hujan merupakan persentase yang diperoleh dari hasil perbandingan suplai air dari sistem pemanenan air hujan (PAH) dengan kebutuhan air bersih perusahaan. Selain itu, efektivitas juga diperoleh dari perbandingan antara jumlah hari operasional kantor/pabrik dengan jumlah hari hujan.

Efisiensi sistem pemanenan air hujan (PAH) diperoleh dengan cara mensimulasikan perbandingan biaya pemakaian air dengan sistem pemanenan air hujan. Pengujian kinerja sistem pemanenan air hujan (PAH) dilakukan dengan menghitung kebutuhan air gedung, suplai air dari sistem pemanenan air hujan (PAH), biaya pengeluaran dari pemakaian air tanah, modal konstruksi sistem pemanenan air hujan (PAH), dan penghematan biaya yang dihasilkan dari penggunaan sistem pemanenan air hujan yang direncanakan. Selisih antara biaya pemakaian air tanah dengan penghematan biaya dari sistem pemanenan air hujan (PAH) merupakan biaya sisa dari pemakaian air tanah yang harus ditanggung perusahaan. Persentase penghematan pemanenan diperoleh dari perbandingan penghematan aktual dengan biaya pemakaian air tanah tanpa PAH.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemakaian Air Perusahaan

Penggunaan air tanah untuk usaha di bidang industri harus memiliki surat Izin Pengusahaan Air Tanah Berdasarkan Permen ESDM Nomor 14 Tahun 2024 Pasal 32. Industri kemasan kardus telah memiliki Surat Izin Pengusahaan Air Tanah (SIPA) dengan batas pemakaian air tanah yang diizinkan sebesar 100 m³/hari. Berdasarkan data penggunaan air perusahaan, pemakaian air tanah masih melebihi batas izin yang diberikan dengan rata-rata 8,5 m³/hari (Tabel 14).

Tabel 14 Pemakaian air tanah perusahaan tahun 2025

No	Bulan	Pemakaian (m ³ /bulan)	Jumlah hari operasional	Izin (m ³ /hari)	Pemakaian berlebih (m ³ /bulan)	Pemakaian berlebih (m ³ /hari)
1	Januari	2915	31	100	-185	0
2	Februari	2843	28	100	43	2
3	Maret	2570	31	100	-530	0
4	April	2857	30	100	-143	0
5	Mei	3074	31	100	-26	0
6	Juni	3121	30	100	121	4
7	Juli	3252	31	100	152	5
8	Agustus	3093	31	100	-7	0
9	September	3064	30	100	64	2
10	Oktober	3625	31	100	525	17
11	November	3490	30	100	490	16
12	Desember	3533	31	100	433	14
Total		37437	365	1200	1828	60
Rata-rata		3120	30	100	261	8,5

Berdasarkan Tabel 14, pemakaian air yang melebihi izin rata-rata sebesar 8,5 m³/hari. Pemakaian tertinggi terdapat pada bulan Oktober sebanyak 17 m³/hari sementara pemakaian terendah terdapat pada bulan Februari sebesar 2 m³/hari. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perusahaan perlu melakukan upaya pengelolaan sumber daya air, salah satunya pemanenan air hujan dengan metode *roof catchment*. Air hujan yang tertampung direncanakan untuk memenuhi kebutuhan air non-produksi bagian operasional *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) peruntukan *hygiene* dan sanitasi seperti pencucian peralatan dan pembersihan area WWTP dengan total 10 m³/hari (Tabel 15).

Tabel 15 Pemakaian air *hygiene* dan sanitasi WWTP tahun 2025

No	Bulan	Pemakaian maksimum (m ³ /hari)	Koagulasi (m ³ /hari)	Flokulasi (m ³ /hari)	<i>Hygiene</i> dan sanitasi (m ³ /hari)
1	Januari	22	6	3	13
2	Februari	27	6	3	18
3	Maret	20	6	3	11
4	April	17	6	3	8
5	Mei	15	6	3	6
6	Juni	12	6	3	3
7	Juli	15	6	3	6
8	Agustus	17	6	3	8

Tabel 15 Pemakaian air *hygiene* dan sanitasi WWTP tahun 2025 (*lanjutan*)

No	Bulan	Pemakaian maksimum (m ³ /hari)	Koagulasi (m ³ /hari)	Flokulasi (m ³ /hari)	<i>Hygiene</i> dan sanitasi (m ³ /hari)
9	September	16	6	3	7
10	Oktober	22	6	3	13
11	November	23	6	3	14
12	Desember	23	6	3	14
Rata-rata (m ³ /hari)		≈ 19	6	3	≈ 10

Berdasarkan Tabel 15, kebutuhan air untuk *hygiene* dan sanitasi bervariasi dari 3 m³/hari pada bulan Juni hingga 18 m³/hari pada bulan Februari dengan rata-rata tahunan sekitar 10 m³/hari. Pemakaian maksimum diperoleh dari jumlah pemakaian maksimum harian setiap bulan pada tahun 2025. Variasi kebutuhan air harian dipengaruhi oleh fluktuasi pemakaian maksimum setiap bulan sedangkan kebutuhan air untuk proses koagulasi sebesar 6 m³/hari dan flokulasi sebesar 3 m³/hari bersifat tetap sepanjang tahun. Dengan demikian, kebutuhan *hygiene* dan sanitasi mencapai 10 m³/hari.

4.2 Analisis Hidrologi

Analisis frekuensi curah hujan merupakan metode statistik yang digunakan untuk memperkirakan peluang terjadinya suatu peristiwa hidrologi berdasarkan data curah hujan historis. Analisis ini menjadi dasar dalam perencanaan hidrologi karena mampu memberikan gambaran mengenai besarnya curah hujan yang berpotensi terjadi pada periode ulang tertentu sebagai acuan dalam mengantisipasi kondisi dimasa mendatang. Selain itu, hasil analisis frekuensi curah hujan menjadi dasar dalam penentuan parameter hidrologi yang digunakan pada tahap perencanaan sistem pemanenan air hujan. Data yang digunakan berupa curah hujan harian maksimum karena dapat merepresentasikan karakteristik serta variasi kejadian hujan ekstrem dalam suatu periode pengamatan (Ruhiat 2022). Pendekatan ini banyak diterapkan dalam berbagai perencanaan teknik seperti penentuan debit banjir rencana untuk desain bangunan hidraulik, pengelolaan sumber daya air, pengendalian banjir, serta evaluasi risiko bencana hidrometeorologi (Zainal dan Zufrimar 2026).

Analisis frekuensi curah hujan dilakukan untuk menentukan curah hujan rancangan pada berbagai periode ulang. Analisis frekuensi curah hujan memberikan dasar yang lebih andal dalam menentukan curah hujan rencana sesuai dengan periode ulang yang dipilih. Periode ulang yang umum digunakan dalam perencanaan hidrologi meliputi 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500, dan 1000 tahun. Estimasi curah hujan untuk setiap periode ulang dihitung secara statistik menggunakan analisis distribusi frekuensi berdasarkan data curah hujan harian maksimum selama 30 tahun yaitu periode 1996 - 2025. Penggunaan data dengan rentang waktu yang panjang bertujuan meningkatkan keandalan hasil analisis dalam merepresentasikan kondisi hidrologi suatu wilayah. Menurut Rusmayadi (2018), pada umumnya diperlukan periode data selama 30 tahun sesuai dengan standar *World Meteorological Organization* (WMO) untuk dapat menggambarkan kondisi iklim wilayah. Seluruh data curah hujan harian maksimum selama 30 tahun diperoleh dari Stasiun Klimatologi Dramaga, Jawa Barat (Tabel 16).

Tabel 16 Curah hujan maksimum dari tahun 1996-2025

No	Tahun	Curah hujan maksimum (mm)	No	Tahun	Curah hujan maksimum (mm)
1	1996	157,0	16	2011	97,6
2	1997	113,5	17	2012	116,0
3	1998	127,1	18	2013	97,4
4	1999	149,6	19	2014	169,1
5	2000	93,8	20	2015	155,8
6	2001	107,5	21	2016	108,6
7	2002	127,0	22	2017	117,6
8	2003	123,3	23	2018	134,5
9	2004	141,6	24	2019	141,0
10	2005	126,5	25	2020	122,9
11	2006	136,4	26	2021	95,9
12	2007	155,5	27	2022	155,2
13	2008	104,5	28	2023	148,0
14	2009	115,1	29	2024	146,6
15	2010	144,5	30	2025	130,4
		Jumlah (mm)			3859,5
		Rata-rata (mm)			128,65

Total curah hujan harian maksimum tahunan periode 1996-2025 yang disajikan pada Tabel 16 adalah 3859.5 mm. Rata-rata curah hujan maksimum tahunan adalah 128,65 mm. Selama periode pengamatan, curah hujan maksimum tertinggi terjadi pada tahun 2014 sebesar 161,1 mm sedangkan curah hujan harian maksimum terendah terjadi pada tahun 2000 sebesar 93,8 mm. Selisih nilai tertinggi dan terendah mencapai 75,3 mm yang menunjukkan adanya variasi intensitas hujan ekstrem yang cukup besar antar tahun. Selain itu, fluktuasi curah hujan maksimum tahunan selama periode pengamatan tidak memperlihatkan kecenderungan meningkat atau menurun secara konsisten. Curah hujan harian maksimum tahun 1996, 2007, 2014, 2022, dan 2023 memiliki nilai diatas rata-rata sedangkan tahun 2000, 2001, 2008, 2011, 2013, dan 2021 berada dibawah rata-rata.

Indonesia memiliki standar nasional yaitu SNI 2451:2016 yang memuat 8 jenis distribusi probabilitas untuk analisis hujan maksimum tahunan. Distribusi yang umum digunakan hanya 4 yaitu distribusi Gumbel, Log Normal, Normal, dan Log Pearson III (Kurniawan 2019). Penentuan distribusi probabilitas yang paling sesuai dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien kemencengan (C_s) dan koefisien keruncingan (C_k) yang diperoleh dari hasil analisis data (Tabel 17).

Tabel 17 Penentuan jenis distribusi probabilitas

No	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil perhitungan	Keterangan
1	Metode Gumbel I	$C_k \leq 5,4$	$\approx 2,26$	Memenuhi
		$C_s \leq 1,14$	$\approx -0,005$	Memenuhi
2	Metode Log Normal	$C_s = 3C_v + C_v^3 = 1,14$	$\approx -0,251$	Tidak Memenuhi
		$C_k = 0$	$\approx 2,30$	Tidak Memenuhi

Tabel 17 Penentuan jenis distribusi probabilitas (*lanjutan*)

No	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil perhitungan	Keterangan
3	Metode Log Pearson III	$Cs \neq 0$	$\approx -0,251$	Memenuhi
		$Ck = 1,5 Cs (\ln x)^2 + 3 = 8,43$	$\approx 2,30$	Tidak Memenuhi
4	Metode Normal	$Ck = 3$	$\approx 2,26$	Tidak Memenuhi
		$Cs = 0$	$\approx -0,005$	Tidak Memenuhi

Keterangan: Cs = koefisien kemencengan, Ck = koefisien keruncingan

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi sementara pengukuran keruncingan digunakan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal (Ruhiat 2022). Berdasarkan Tabel 17 diperoleh nilai koefisien kemencengan (Cs) sebesar -0,005 dan koefisien keruncingan (Ck) sebesar 2,26. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi Gumbel merupakan distribusi yang paling sesuai karena memenuhi kriteria nilai Cs dan Ck yang dipersyaratkan. Oleh karena itu, distribusi Gumbel dipilih untuk merepresentasikan karakteristik sebaran data curah hujan yang dianalisis. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Ruhiat (2022) yang menyatakan bahwa distribusi Gumbel menghasilkan estimasi yang lebih mendekati kondisi aktual dibandingkan distribusi Log-Pearson III dan Log Normal.

Uji kecocokan distribusi dilakukan untuk memastikan bahwa distribusi frekuensi yang dipilih mampu merepresentasikan distribusi statistik data sampel terhadap fungsi distribusi peluang. Penentuan distribusi probabilitas yang paling sesuai dilakukan melalui uji nonparametrik yang bertujuan mengevaluasi kesesuaian antara frekuensi hasil pengamatan dan frekuensi teoritis. Dalam analisis hidrologi, uji yang umum digunakan adalah uji Smirnov-Kolmogorov dan Chi-Kuadrat.

Menurut Rosadi dan Irawan (2026), uji Smirnov-Kolmogorov merupakan metode nonparametrik yang digunakan untuk mengevaluasi penyimpangan secara horizontal antara data hasil pengamatan dan distribusi teoritis. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai ΔP maksimum sebesar 0,084 lebih kecil dibandingkan nilai ΔP kritis sebesar 0,248 (Lampiran 1). Hasil tersebut menunjukkan bahwa distribusi Gumbel memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap data curah hujan yang dianalisis sehingga layak digunakan dalam penentuan curah hujan rencana untuk berbagai periode ulang.

Selain uji Smirnov-Kolmogorov, kesesuaian distribusi juga diuji menggunakan uji Chi-Kuadrat. Menurut Zainal (2021), uji Chi-Kuadrat didasarkan pada jumlah kuadrat selisih antara frekuensi observasi dan frekuensi teoritis dengan mempertimbangkan derajat kebebasan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai X^2 hitung sebesar 1,2 sedangkan nilai X^2 kritis sebesar 7,815. Distribusi Gumbel memenuhi kriteria dan dapat digunakan dalam analisis karena hasil X^2 perhitungan lebih kecil daripada nilai X^2 teoritis (Lampiran 2).

Perhitungan debit rencana untuk sistem pemanenan air hujan dilakukan berdasarkan curah hujan rencana 24 jam dan karakteristik daerah tangkapan atap. Intensitas hujan diperoleh melalui konversi curah hujan rencana sesuai durasi hujan

yang digunakan sedangkan debit puncak dihitung menggunakan metode rasional. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh intensitas hujan sebesar 58 mm/jam dan debit rencana sebesar 0,019 m³/s (Tabel 18).

Tabel 18 Perhitungan intensitas hujan dan debit rencana

R24 (mm)	Intensitas hujan (mm/jam)	Luas (m ²)	Luas (Km ²)	Koefisien limpasan	Debit rencana (m ³ /s)
125	≈ 58	1284	0,001	0,9	≈ 0,019

Keterangan: R24 = curah hujan 24 jam

Perhitungan debit rencana pada Tabel 18 dilakukan menggunakan metode rasional dengan curah hujan rencana 24 jam (R24) sebesar 125 mm untuk periode ulang hujan 2 tahun. Nilai R24 tersebut terlebih dahulu dikonversi menjadi intensitas hujan dalam satuan mm/jam. Pemilihan periode ulang hujan (PUH) 2 tahun didasarkan pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan yang menetapkan bahwa periode ulang tersebut digunakan untuk daerah tangkapan (*cathchment area*) dengan luas yang relatif kecil.

Secara hidrologi, penggunaan periode ulang hujan pada sistem pemanenan air hujan (SPAH) berbeda dengan perencanaan debit banjir rencana pada sungai atau bangunan pengendali banjir. Hal ini karena SPAH merupakan sistem konservasi dan pemanfaatan air hujan skala bangunan yang dirancang untuk menangkap limpasan dari kejadian hujan yang relatif sering terjadi bukan untuk mengendalikan hujan ekstrem. Oleh karena itu, penggunaan PUH 2 tahun sudah memadai untuk memperoleh efisiensi tampungan. Penggunaan periode ulang yang lebih besar hanya akan menghasilkan dimensi talang, pipa, dan tangki yang jauh lebih besar tetapi volume air yang dapat dimanfaatkan relatif kecil dibandingkan biaya pembangunannya. Menurut Basuki dan Adhyani (2009), besarnya curah hujan maksimum yang digunakan dalam perencanaan bangunan air bergantung pada umur layanan dan kapasitas tampung bangunan tersebut. Waduk berukuran besar memerlukan data curah hujan maksimum dengan periode ulang yang panjang dari 50 tahun sampai 100 tahun untuk menjamin tingkat keamanan yang tinggi. Sementara itu, bangunan seperti saluran irigasi cukup menggunakan periode ulang yang lebih pendek sekitar 2, 5, hingga 10 tahun karena risiko dan skala dampaknya relatif lebih kecil (Basuki dan Adhyani 2009). Begitupun dengan pemanenan air hujan, bangunan yang diperlukan untuk memenuhi debit rencana juga tidak terlalu besar. Luas tangkapan atap yang digunakan dalam perhitungan adalah 1284 m² dengan koefisien limpasan 0,9. Berdasarkan hasil perhitungan, debit puncak rencana yang diperoleh 0,019 m³/s. Nilai debit ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan dimensi talang dan pipa pada sistem pemanenan air hujan.

4.3 Dimensi Talang dan Pipa Sistem Pemanenan Air Hujan

Nilai debit rencana digunakan sebagai dasar dalam menentukan dimensi talang dan pipa pada sistem pemanenan air hujan. Selanjutnya, kapasitas talang dihitung berdasarkan dimensi yang direncanakan. Hasil perhitungan kapasitas talang kemudian dibandingkan dengan debit rencana untuk memastikan bahwa talang mampu mengalirkan limpasan air hujan secara optimal (Tabel 19).

Tabel 19 Penentuan dimensi talang

Luas (m ²)	Debit rencana (m ³ /s)	Lebar atas (m)	Lebar bawah (m)	Tinggi (m)	Kapasitas talang (m ³ /s)
1284	≈ 0,019	0,40	0,35	0,5	≈ 0,194

Berdasarkan Tabel 19, talang direncanakan berbentuk trapesium dengan dimensi penampang saluran lebar atas 0,4 m. lebar bawah 0,35 m. dan tinggi 0,5 m. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas talang lebih besar dibandingkan debit rencana sehingga dimensi tersebut mampu mengalirkan debit air hujan secara aman. Dimensi pipa ditentukan berdasarkan SNI 03-7065-2005 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem *Plumbing* yang meliputi pipa datar dan pipa tegak (Tabel 20).

Tabel 20 Penentuan dimensi pipa

Pipa	Luas (m ²)	Debit rencana (m ³ /s)	Diameter (mm)
Datar	1284	0,019	300
Tegak	1284	0,019	200

Berdasarkan Tabel 20, diameter pipa datar pada sistem pemanenan air hujan ditetapkan sebesar 300 mm sedangkan diameter pipa tegak 200 mm. Perbedaan diameter tersebut dipengaruhi oleh karakteristik aliran. Pipa tegak memiliki kecepatan aliran lebih besar dibandingkan pipa datar akibat gaya gravitasi sehingga bisa menggunakan pipa dengan diameter yang lebih kecil.

4.4 Perancangan Teknologi Filtrasi

4.4.1 Perancangan Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan padatan dan cairan dengan mengalirkan air melalui media berpori sehingga partikel-partikel tersuspensi dapat tertahan dan terpisah dari aliran air. Berdasarkan metode operasinya, filtrasi dibedakan menjadi 2 jenis yaitu saringan pasir cepat (*rapid sand filter*) dan saringan pasir lambat (*slow sand filter*). Saringan pasir cepat memiliki laju penyaringan yang lebih tinggi sehingga mampu menghasilkan debit air olahan yang lebih besar. Sistem ini umumnya diterapkan untuk menurunkan kadar padatan tersuspensi dan kekeruhan air. Pengoperasiannya memerlukan media penyaring dalam jumlah relatif banyak serta dilengkapi dengan jaringan perpipaan dan kran sebagai saluran masuk (*inlet*) maupun keluar (*outlet*) air. Pencucian secara berkala diperlukan untuk mempertahankan kinerja filtrasi dan mencegah penyumbatan media.

Saringan pasir lambat menggunakan media pasir tunggal untuk mengolah air permukaan tanpa unit koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Kinerja sistem ini tidak diperlukan penambahan bahan kimia karena proses penyisihan kontaminan berlangsung melalui mekanisme fisik, biologis, biokimia, yang melibatkan aktivitas mikroorganisme pada lapisan media filter. Pada perancangan sistem pemanenan air hujan, jenis filtrasi yang dirancang adalah *rapid sand filter* dengan aliran gravitasi. Sistem tersebut terdiri atas ruang filtrasi, sistem *underdrain*, dan ruang *backwash* (Tabel 21).

Tabel 21 Hasil perancangan filtrasi

No	Deskripsi	Nilai	Satuan
Dimensi Bak Filtrasi			
1	Debit (Q)	600	m ³ /hari
2	Debit (Q)	0,0016	m ³ /s
3	Kecepatan aliran pipa (v)	1	m/s
4	Luas (A)	4,2	m ²
5	Kecepatan filtrasi (Vf)	0,0017	m/s
6	Jumlah bak filtrasi (n)	1	buah
7	Luas permukaan filtrasi total	4,2	m/s
8	Luas tiap filtrasi (An)	4,2	m ²
9	Panjang bak (p)	2,8	m
10	Lebar bak (l)	1,4	m
11	Diameter pasir silika	0,3	m
12	Diameter <i>bio ceramic ball</i>	0,1	m
<i>Backwash</i>			
13	Kecepatan <i>backswash</i>	0,013	m/s
<i>Manifold</i>			
14	Jarak antar <i>lateral</i>	0,15	m
15	Jarak antar <i>orifice</i>	0,193	m
16	Kecepatan aliran pipa	1	m/s
17	Diameter <i>manifold</i> (Dm)	0,3	m
18	Panjang <i>manifold</i> (Lm)	2,8	m
19	Diameter <i>lateral</i> (DL)	0,04	m
20	Jumlah <i>lateral</i>	34	buah
21	Jumlah <i>lateral</i> tiap sisi	17	buah
22	Panjang <i>lateral</i> tiap sisi (LL)	0,71	m
23	Diameter <i>orifice</i> (Do)	0,015	m
24	Jumlah <i>orifice</i> tiap lateral	2	buah
<i>Saluran pelimpah (gutter)</i>			
25	Tinggi air (H0)	0,137	m
26	Lebar (Ww)	0,205	m
27	Tinggi (Hw)	0,157	m
<i>Tinggi bak filtrasi</i>			
28	Tinggi total bak (H)	1,85	m

Bak filtrasi dirancang sebagai unit pengolahan air hujan hasil pemanenan sebelum dialirkan ke tangki penyimpanan. Perencanaan dilakukan berdasarkan jumlah saringan bak filtrasi yaitu 1 unit dengan debit 300 m³/hari atau 0,0016 m³/s dengan kebutuhan luas permukaan filtrasi minimum sebesar 4,2 m². Berdasarkan Tabel 21, panjang dan lebar bak berturut-turut 2,8 m dan 1,4 m dengan tinggi 1,85 m. Luas permukaan filtrasi yang melebihi kebutuhan minimum dapat mengurangi

beban hidraulik pada media filter sehingga proses penyisihan kontaminan lebih optimal.

Media penyaring disusun secara berlapis yang terdiri dari pasir silika setebal 30 cm dan *bio ceramic ball* setebal 10 cm. Pasir silika sebagai penyaring pertama karena berfungsi menyaring padatan tersuspensi, menurunkan tingkat kekeruhan, dan menahan partikel halus yang terbawa bersama limpasan air hujan dari permukaan atap. Penggunaan pasir silika telah banyak digunakan dalam sistem pengolahan air karena memiliki kemampuan penyaringan fisik yang efektif terhadap partikel tersuspensi.

Dibawah lapisan pasir silika ditempatkan media *bio ceramic ball* yang berfungsi menjaga kestabilan aliran air sekaligus menyediakan ruang pori yang besar sehingga distribusi aliran pada media filtrasi menjadi lebih merata. Perpaduan dua media dengan karakteristik fisik yang berbeda memungkinkan proses penyaringan berlangsung secara bertahap sehingga kualitas air hasil filtrasi lebih baik dibandingkan hanya menggunakan 1 media filter. Sistem *underdrain* terdiri atas *manifold*, *lateral*, dan *orifice*. Sistem tersebut berfungsi sebagai penyangga media filtrasi, mengumpulkan air hasil penyaringan secara merata, serta menyalurkan air pencuci selama proses *backwash*. Keseragaman distribusi aliran melalui sistem *underdrain* sangat penting untuk mempertahankan efektivitas filtrasi karena dapat mencegah terbentuknya jalur aliran dominan (*channeling*) yang menyebabkan sebagian media tidak bekerja secara optimal.

Unit filtrasi juga dilengkapi dengan fasilitas *backwash* yang dirancang menggunakan kecepatan pencucian sebesar 0,013 m³/s. Proses ini bertujuan menghilangkan akumulasi partikel yang tertahan pada media selama proses pengoperasian. Penumpukan padatan secara terus-menerus dapat meningkatkan *headloss* sekaligus menurunkan kapasitas penyaringan. Oleh sebab itu, pencucian media secara berkala menjadi salah satu aspek penting untuk menjaga kinerja dan efisiensi unit filtrasi. Seluruh hasil perancangan unit filtrasi yang meliputi perhitungan debit, luas filtrasi, dimensi media, serta sistem *underdrain* didesain menggunakan *software* AutoCAD meliputi tampak depan, tampak samping, dan denah filtrasi (Lampiran 6).

Sistem *manifold* pada filtrasi berfungsi untuk memastikan distribusi aliran merata diseluruh dasar bak sehingga setiap bagian media filtrasi dapat dimanfaatkan secara optimal selama proses penyaringan. Sistem ini juga berperan dalam mendistribusikan aliran saat proses *backwash* agar pencucian media berlangsung secara seragam diseluruh area. Sistem filtrasi juga dilengkapi saluran pelimpah (*gutter*) yang berfungsi mengalirkan air selama proses *backwash*, menjaga kestabilan muka air di dalam bak serta mencegah limpasan yang tidak terkendali.

4.4.2 Uji Kualitas Air Hujan

Air hujan diolah menggunakan filtrasi sederhana dalam bentuk *prototype* (Gambar 5). *Prototype* dibuat berdasarkan hasil rancangan sebelumnya melalui perbandingan volume media filtrasi dan jumlah bak dengan perhitungan debit olahan sebagai berikut.

- a. Volume Media Unit Filtrasi

Debit rancangan	= 6,94 L/s = 430,28 L/menit
Panjang bak	= 2,8 m

Lebar bak = 1,4 m
 Tinggi media = 0,4 m
 Volume = 1,568 m³

b. Volume Media *Prototype*

Diameter = 0,0762 m
 Tinggi media = 0,4 m
 Volume = 0,001823 m³

c. Perbandingan Volume

Perbandingan = volume media unit filtrasi 860 kali lebih besar dari volume *prototype*

d. Debit *Prototype*

Debit = Debit rancangan : 860
 = 430,28 L/menit : 860
 = 0,5 L/menit
 = 500 mL/menit

Debit air hujan pada *prototype* sebesar 0,5 mL/menit atau. Pengolahan air hujan adalah langkah yang penting karena aktivitas industri serta emisi yang dihasilkan dikawasan industri berpotensi menyebabkan berbagai polutan terdepositasi ke dalam air hujan. Pengujian kualitas air hujan dilakukan sebelum dan sesudah proses pengolahan untuk mengevaluasi efektivitas sistem filtrasi dalam menurunkan konsentrasi parameter pencemar dan membandingkan dengan baku mutu (Tabel 22).

Tabel 22 Uji kualitas air hujan

No	Parameter	Sebelum	Sesudah	Baku mutu*	Satuan	Efektivitas (%)
1	Suhu	28.2	28.3	Suhu udara ± 3	°C	≈ 5.52
2	Kekeruhan	0	0	<3	NTU	0
3	Warna	0	0	10	TCU	0
4	Bau	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau	-	0
5	pH	6.16	6.5	6.5 – 8.5	-	-
6	Nitrat (sebagai NO ₃ terlarut)	0.211	0.041	20	mg/L	≈ 80.57
7	Besi (Fe) (terlarut)	0.1108	0.0890	0.2	mg/L	≈ 19.67

*Permenkes Nomor 2 Tahun 2023

Berdasarkan Tabel 22, hasil pengujian memperlihatkan bahwa parameter suhu sebelum dan sesudah proses filtrasi cenderung tidak mengalami perubahan yang signifikan dari 28,2°C menjadi 28,3°C. Nilai tersebut masih memenuhi persyaratan kualitas air bersih yaitu berada pada kisaran suhu udara $\pm 3^\circ\text{C}$. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses filtrasi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan suhu air karena fungsi utama media filter adalah menyisihkan kontaminan bukan mengubah karakteristik termal air.

Parameter fisik berupa warna, kekeruhan, dan bau sudah memenuhi baku mutu sebelum dilakukan filtrasi. Nilai kekeruhan sebesar 0 NTU, warna sebesar 0 TCU, serta tidak terdeteksi adanya bau baik sebelum maupun sesudah proses

penyaringan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa air hujan yang dipanen telah memiliki kualitas fisik yang baik sehingga proses filtrasi tidak memberikan perubahan terhadap parameter tersebut. Temuan ini sejalan dengan Wahyudi dan Aini (2021), kualitas air hujan umumnya sudah baik apabila sistem penampungan dan saluran pengalirannya dipelihara dengan baik sehingga risiko kontaminasi padatan tersuspensi dapat diminimalkan.

Perubahan signifikan terdapat pada parameter pH. Setelah melewati proses filtrasi, pH meningkat dari 5,97 menjadi 6,5. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa media filter berperan dalam menurunkan tingkat keasaman air hujan sehingga nilai pH mendekati netral. Air hujan pada umumnya memiliki sifat sedikit asam karena adanya pelarutan karbon dioksida serta polutan atmosfer selama proses presipitasi. Meningkatnya nilai pH setelah filtrasi mengindikasikan adanya interaksi antara air dengan media filter yang mampu mengurangi ion-ion penyebab keasaman. Hal ini sesuai dengan penelitian Urbayanti *et al.* (2022). media *bio ceramic ball* berfungsi menaikkan nilai pH air.

Konsentrasi parameter nitrat mengalami penurunan dari 0,211 mg/L menjadi 0,041 mg/L setelah proses filtrasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa media filtrasi memiliki kemampuan dalam menyerap senyawa nitrogen dalam jangka panjang. Penurunan tersebut diduga terjadi melalui mekanisme adsorpsi dan penyaringan oleh media filter. Hal ini didukung oleh penelitian Annisa (2021), pasir silika mampu menurunkan kadar nitrat pada air hujan.

Konsentrasi besi (Fe) terlarut juga mengalami penurunan dari 0,1108 mg/L menjadi 0,089 mg/L setelah filtrasi. Rendahnya efisiensi tersebut dapat disebabkan karena pasir silika bekerja melalui mekanisme penyaringan fisik sehingga lebih efektif menahan partikel tersuspensi dibandingkan ion Fe^{2+} yang masih terlarut di dalam air. Selain itu, *bio ceramic ball* berfungsi menaikkan nilai pH dan memperbaiki rasa pada air. Efektivitas penyisihan Fe sangat dipengaruhi oleh proses oksidasi sebelum filtrasi, waktu kontak, ketebalan media, dan kombinasi media filtrasi yang digunakan. Penelitian oleh Sappewali *et al.* (2024) menunjukkan bahwa penggunaan media multifilter berupa pasir silika, arang aktif, dan zeolit dengan ketebalan yang lebih besar mampu menurunkan kadar Fe hingga 84,08%. sehingga membuktikan bahwa pasir silika saja belum cukup untuk menghasilkan efisiensi penyisihan yang tinggi. Selain itu, Rizky *et al.* (2025) juga menyatakan bahwa peningkatan waktu kontak antara air dan media pasir silika secara signifikan meningkatkan efisiensi penurunan kadar Fe karena memberikan kesempatan lebih lama bagi proses oksidasi dan penyaringan berlangsung. Menurut Sappewali *et al.* (2024), semakin tebal media filter maka semakin lama air akan tinggal selama proses filtrasi serta semakin luas permukaan adsorben maka daya serap adsorben semakin besar sehingga kadar besi dalam air semakin kecil.

Pengujian kualitas air pada penelitian ini belum mencakup seluruh parameter yang dipersyaratkan dalam Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Parameter yang belum diuji meliputi *Escherichia coli*, *Total Coliform*, *Total Dissolved Solid* (TDS), Nitrit (sebagai NO_2 terlarut), Kromium valensi 6 (Cr^{6+}) (terlarut), dan Mangan (Mn) (terlarut), serta parameter tambahan berupa Aluminium (Al) dan Sulfat (SO_4^{2-}). Pengujian terhadap parameter-parameter tersebut diperlukan untuk memberikan penilaian yang lebih komprehensif terhadap kualitas air hujan dan air hasil pengolahan serta mengevaluasi efektivitas rangkaian unit pengolahan dalam memenuhi baku mutu air untuk keperluan higiene dan sanitasi.

4.5 Dimensi Tangki Penyimpanan

Kapasitas tangki ditentukan melalui perhitungan selisih antara volume air hujan yang dipanen dengan kebutuhan air bersih. Selisih kumulatif dari kedua nilai tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan volume tangki yang mampu menampung kelebihan air saat curah hujan tinggi serta menyediakan cadangan air ketika ketersediaan air hujan tidak mencukupi (Abigail 2024).

Volume air hujan yang tersedia dihitung berdasarkan hasil perkalian luas bidang atap, curah hujan, dan koefisien limpasan. Curah hujan yang digunakan dalam perhitungan merupakan curah hujan andalan yang diperoleh dari analisis data curah hujan Stasiun BMKG Klimatologi Dramaga selama periode 1996-2025 dengan tingkat keandalan 80% (R80). Nilai R80 ditentukan menggunakan analisis probabilitas terhadap data curah hujan yang diurutkan dari nilai terbesar hingga terkecil. Penggunaan curah hujan andalan bertujuan memperkirakan potensi volume air hujan yang dapat dipanen setiap bulan sebagai dasar dalam perencanaan kapasitas sistem pemanenan air hujan (Fathoni 2023) (Tabel 23).

Tabel 23 Perhitungan curah hujan andalan

Bulan	Tahun	Curah hujan (mm)
Januari	2023	211,1
Februari	1999	270,8
Maret	2011	140,0
April	2000	276,2
Mei	2017	248,4
Juni	1996	138,4
Juli	2021	115,6
Agustus	2015	95,7
September	2011	105,9
Oktober	1997	231,0
November	2010	284,2
Desember	2010	177,3

Berdasarkan Tabel 23, curah hujan andalan tertinggi tercatat pada bulan November sebesar 284,2 mm kemudian diikuti bulan April sebesar 276,2 mm dan Februari sebesar 270,8 mm. Tingginya curah hujan pada bulan-bulan tersebut menunjukkan bahwa potensi pemanenan air hujan berada pada kondisi yang optimal sehingga volume air yang dapat ditampung dalam sistem penampungan menjadi lebih besar. Kondisi tersebut memberikan peluang yang baik untuk memenuhi kebutuhan air secara berkelanjutan sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap sumber air utama perusahaan. Sebaliknya, curah hujan andalan terendah terjadi pada bulan Agustus dengan nilai 95,7 mm yang mencerminkan periode dengan ketersediaan air hujan paling rendah sepanjang tahun. Nilai tersebut menjadi acuan dalam perencanaan karena curah hujan andalan merupakan besaran curah hujan yang masih memiliki peluang sebesar 80% untuk terjadi.

Mengacu pada Tabel 23, periode Juni hingga September termasuk ke dalam musim kering dengan curah hujan andalan kurang dari 140 mm. Selama periode tersebut terjadi penurunan potensi air hujan yang cukup signifikan dibandingkan

bulan-bulan lainnya sehingga volume air yang masuk ke tangki penyimpanan juga berkurang. Kondisi ini menunjukkan pentingnya kapasitas tampungan yang memadai agar cadangan air yang telah terkumpul pada musim hujan dapat dimanfaatkan untuk menjaga kontinuitas pasokan air selama musim kering. Di sisi lain, periode November hingga Mei memiliki curah hujan andalan yang relatif tinggi, berkisar antara 140-284,2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah penelitian mempunyai potensi pemanenan air hujan yang cukup besar selama sebagian besar waktu dalam satu tahun. Besarnya volume air hujan yang tersedia pada periode tersebut memungkinkan terjadinya *surplus* air yang dapat disimpan di dalam tangki penyimpanan.

Informasi mengenai curah hujan andalan menjadi dasar penting dalam menentukan kapasitas tangki penyimpanan, luas area tangkapan hujan, serta tingkat keandalan sistem dalam memenuhi kebutuhan air. Penggunaan curah hujan andalan sebagai dasar perencanaan dinilai lebih representatif dibandingkan penggunaan curah hujan rata-rata karena telah mempertimbangkan variasi iklim yang dapat terjadi setiap tahun. Melalui pendekatan ini, sistem pemanenan air hujan diharapkan mampu menyediakan pasokan air secara konsisten untuk memenuhi kebutuhan hygiene dan sanitasi WWTP sepanjang tahun termasuk pada periode kemarau dengan curah hujan yang rendah.

Kebutuhan air cenderung meningkat pada musim hujan akibat tingginya aktivitas operasional sedangkan pada musim kemarau nilainya relatif lebih rendah. Secara rata-rata, kebutuhan air operasional WWTP di luar proses koagulasi dan flokulasi mencapai 10 m³/hari sedangkan kebutuhan yang berada di luar cakupan Surat Izin Pengusahaan Air Tanah (SIPA) sebesar 8,5 m³/hari (Tabel 14). Suplai air hujan dihitung berdasarkan hasil perkalian curah hujan andalan, luas atap sebagai area tangkapan, dan koefisien limpasan. Potensi pemenuhan kebutuhan air kemudian ditentukan melalui perbandingan antara volume suplai air hujan yang diperoleh dengan kebutuhan air harian (Tabel 24).

Tabel 24 Suplai dan potensi pemanfaatan

Bulan	Suplai (m ³ /bulan)	Backwash (m ³ /bulan)	Suplai aktual (m ³ /bulan)	Jumlah hari suplai	Kebutuhan (m ³ /bulan)	Potensi (%)
Januari	244	46	198	23	265	75%
Februari	313	46	267	31	239	112%
Maret	162	42	120	14	265	45%
April	319	50	269	31	256	105%
Mei	287	40	247	29	265	93%
Juni	160	19	141	17	256	55%
Juli	134	21	113	13	265	43%
Agustus	111	6	104	12	265	39%
September	122	27	95	11	256	37%
Oktober	267	19	248	29	265	94%
November	328	52	276	32	256	108%
Desember	205	54	151	18	265	57%
Jumlah	2652	421	2231	261	3120	862%
Rata-rata	221	35	186	22	260	71%

Berdasarkan Tabel 24, volume suplai air hujan hasil pemanenan berkisar antara 111-328 m³/bulan dengan total potensi sebesar 2.652 m³/tahun. Besarnya suplai tersebut dihitung menggunakan curah hujan andalan 80% (R80), luas atap

sebagai area tangkapan sebesar 1.284 m², serta koefisien limpasan sebesar 0,9. Volume suplai tertinggi diperoleh pada bulan November yaitu 328 m³/bulan kemudian bulan April sebesar 319 m³/bulan dan Februari sebesar 313 m³/bulan. Sebaliknya, volume suplai terendah terjadi pada bulan Agustus yaitu sebesar 111 m³/bulan yang bertepatan dengan periode musim kemarau.

Setelah memperhitungkan kehilangan air akibat proses pencucian balik (*backwash*) media filtrasi sebesar 421 m³/tahun, total suplai air hujan yang dapat dimanfaatkan menjadi 2.231 m³/tahun atau rata-rata sekitar 216 m³/bulan. Jika dibandingkan dengan kebutuhan air WWTP sebesar 3.120 m³/tahun, air hujan hasil pemanenan berpotensi memenuhi sekitar 71% dari total kebutuhan air tahunan. Pada beberapa bulan seperti Februari, April, dan November volume suplai aktual mampu memenuhi bahkan melampaui kebutuhan air bulanan dengan tingkat pemenuhan melebihi 100%. Sebaliknya, selama periode Juni hingga September, kemampuan pemenuhan kebutuhan menurun dengan potensi berkisar dari 37% hingga 112% akibat berkurangnya curah hujan sehingga pasokan air hujan belum mampu mencukupi seluruh kebutuhan operasional.

Berdasarkan rata-rata harian, suplai air hujan selama 22 hari masih berada di bawah kebutuhan air rata-rata selama 30 hari operasional dalam setahun. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemanenan air hujan hanya dapat memenuhi sebagian kebutuhan air pada sehingga tetap diperlukan sumber air alternatif untuk menjamin kontinuitas pasokan. Analisis defisit dan limpasan berlebih (*overflow*) dilakukan untuk mengevaluasi keseimbangan antara ketersediaan air hujan dan kebutuhan air operasional (Tabel 25).

Tabel 25 Defisit dan *overflow*

Bulan	Jumlah hari hujan	Jumlah hari suplai	Jumlah hari operasional	<i>Overflow</i> (hari)	<i>Defisit</i> (hari)
Januari	21	23	31	0	8
Februari	22	31	28	3	0
Maret	20	14	31	0	7
April	24	31	30	1	0
Mei	19	29	31	0	2
Juni	9	17	30	0	13
Juli	10	13	31	0	18
Agustus	3	12	31	0	19
September	13	11	30	0	19
Oktober	9	29	31	0	2
November	25	32	30	2	0
Desember	26	18	31	0	12
Jumlah	201	261	365	7	109
Rata-rata	17	22	30	2,4	13,6

Berdasarkan Tabel 25, sistem pemanenan air hujan mampu menyediakan pasokan air selama 261 hari dalam satu tahun sedangkan kegiatan operasional WWTP berlangsung selama 365 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa air hujan dapat memenuhi kebutuhan air untuk sebagian besar periode operasional dalam 1 tahun. Jumlah hari suplai tertinggi tercatat pada bulan November yaitu 32 hari

kemudian bulan Februari sebanyak 31 hari yang mengindikasikan adanya kelebihan ketersediaan air hujan pada periode tersebut. Sebaliknya, bulan Agustus hanya mampu memenuhi kebutuhan air selama 13 hari sehingga menjadi bulan dengan tingkat ketersediaan air hujan paling rendah.

Analisis terhadap kondisi *overflow* dan *defisit* memperlihatkan bahwa kelebihan air terjadi pada bulan Februari, April, dan November dengan total 7 hari dalam satu tahun. Sementara itu, kondisi defisit berlangsung selama 109 hari per tahun meliputi periode musim kemarau yaitu bulan Juni hingga September. Defisit terbesar tercatat pada bulan Agustus dan September sebanyak 19 hari. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pasokan air hujan belum dapat memenuhi kebutuhan air secara merata sepanjang tahun. Oleh karena itu, diperlukan kapasitas penyimpanan yang memadai untuk menampung kelebihan air pada musim hujan sehingga dapat dimanfaatkan pada saat musim kemarau serta dukungan sumber air alternatif untuk memenuhi kebutuhan ketika terjadi kekurangan pasokan.

Suplai air hujan juga ditinjau berdasarkan kebutuhan air yang tidak termasuk ke dalam surat izin pengusahaan air tanah (SIPA) yaitu rata-rata 8,5 m³/hari pada bulan Februari, Juni, Juli, September, Oktober, November, dan Desember. Suplai air hujan dibandingkan dengan kebutuhan air pada bulan tersebut untuk memperoleh potensi pemanfaatan (Tabel 26).

Tabel 26 Suplai dan potensi pemanfaatan selama 7 bulan

Bulan	Suplai aktual (m ³ /bulan)	Jumlah hari suplai	Kebutuhan (m ³ /bulan)	Jumlah hari operasional	Overflow (m ³ /bulan)	Potensi (%)
Februari	267	31	43	28	224	621%
Juni	141	17	121	30	20	117%
Juli	113	13	152	31	-39	74%
September	95	11	64	30	31	149%
Oktober	248	29	525	31	-277	47%
November	276	32	490	30	-214	56%
Desember	151	18	433	31	-282	35%
Jumlah	1291	151	1828	211	-537	1099%
Rata-rata	322,75	37,75	457	52,75	-134,25	275%

Berdasarkan Tabel 26, Jumlah suplai selama 7 bulan sebesar 1291 m³ sementara kebutuhan mencapai 1828 m³ yang berada diluar surat izin pemangusahaan air tanah (SIPA). Suplai air hujan hanya mampu memenuhi kebutuhan pada bulan Februari, Juni, dan September dimana tidak terdapat *defisit* seperti bulan lainnya. Potensi pemanfaatan diperoleh sebesar 71% dimana terdapat 29% kebutuhan yang tidak bisa dipenuhi oleh pemanenan air hujan. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem pemanenan air hujan mampu memberikan kontribusi yang signifikan dalam mengurangi penggunaan air tanah. Evaluasi keseimbangan antara volume air hujan yang ditampung dan kebutuhan air ditentukan berdasarkan simulasi tangki penyimpanan. Simulasi ini digunakan untuk mengetahui perubahan volume air yang tersimpan pada tangki selama periode operasional. Akumulasi S menunjukkan total volume air hujan yang tersimpan sedangkan akumulasi Ab menggambarkan total kebutuhan air WWTP. Selisih bernilai positif menunjukkan *surplus* air sedangkan selisih bernilai negatif menunjukkan *defisit* yang harus dipenuhi melalui kapasitas tangki penyimpanan (Tabel 27).

Tabel 27 Perhitungan tangki penyimpanan simulasi saat sepanjang tahun

Bulan	R80 (mm)	S (m ³)	Akumulasi (m ³)	Ab (m ³)	Akumulasi (m ³)	Selisih (m ³)
Januari	211,1	243,9	244	265	265	-21,1
Februari	270,8	312,9	557	239	504	52,5
Maret	140,0	161,8	719	265	769	-50,7
April	276,2	319,2	1038	256	1026	12,0
Mei	248,4	287,0	1325	265	1291	34,0
Juni	138,4	159,9	1485	256	1547	-62,5
Juli	115,6	133,6	1618	265	1812	-194,0
Agustus	95,7	110,6	1729	265	2077	-348,4
September	105,9	122,4	1851	256	2334	-482,5
Oktober	231,0	266,9	2118	265	2599	-480,6
November	284,2	328,4	2447	256	2855	-408,6
Desember	177,3	204,9	2652	265	3120	-468,7
			Max			52
			Min			-482
			Volume tangki per tahun (m ³ /Tahun)			535
			Volume tangki per bulan (m ³ /Bulan)			45
			Volume tangki per hari (m ³ /Hari)			1

Keterangan: R80 = curah hujan andalan 80, S = suplai, Ab = kebutuhan

Berdasarkan Tabel 27, kondisi *surplus* dan *defisit* air hujan mengalami perubahan hampir setiap bulan sebagai akibat fluktuasi curah hujan dan kebutuhan air. Pada bulan Februari terjadi *surplus* sebesar 52,5 m³ karena curah hujan andalan mencapai 270,8 mm sehingga menghasilkan suplai air hujan sebesar 312,9 m³, lebih tinggi dibandingkan kebutuhan air sebesar 243 m³. Sebaliknya, pada bulan Maret terjadi defisit sebesar 50,7 m³ yang dipengaruhi oleh penurunan curah hujan menjadi 140 mm. Defisit terbesar tercatat pada bulan Desember dengan nilai kumulatif mencapai 468,7 m³.

Hasil akumulasi neraca air selama satu tahun menunjukkan bahwa kapasitas tangki penyimpanan berbahan *fiberglass* (*fiberglass reinforced plastic*/FRP) yang dibutuhkan adalah sebesar 535 m³/tahun atau setara dengan 45 m³/bulan. Namun demikian, nilai tersebut belum sepenuhnya menggambarkan kondisi paling kritis karena perhitungannya menggabungkan periode musim hujan dan musim kemarau dalam satu siklus tahunan.

Meningkatnya defisit selama musim kemarau menunjukkan bahwa kebutuhan kapasitas penyimpanan dipengaruhi pola distribusi curah hujan sepanjang tahun. Oleh sebab itu, analisis kapasitas tangki perlu dilakukan secara terpisah antara musim hujan dan musim kemarau agar menghasilkan ukuran tangki yang lebih representatif terhadap kondisi operasional di lapangan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, simulasi kapasitas tangki pada musim hujan dilakukan untuk periode Januari-Mei serta Oktober-Desember (Tabel 28).

Tabel 28 Volume tangki penyimpanan simulasi saat musim hujan

Bulan	R80 (mm)	S (m ³)	Akumulasi (m ³)	Ab (m ³)	Akumulasi (m ³)	Selisih (m ³)
Januari	211,1	243,9	244	265	265	-21,1
Februari	270,8	312,9	557	239	504	52,5
Maret	140,0	161,8	719	265	769	-50,7
April	276,2	319,2	1038	256	1026	12,0

Tabel 28 Volume tangki penyimpanan simulasi saat musim hujan (*lanjutan*)

Bulan	R80 (mm)	S (m ³)	Akumulasi (m ³)	Ab (m ³)	Akumulasi (m ³)	Selisih (m ³)
Mei	248,4	287,0	1325	265	1291	34,0
Oktober	231,0	266,9	1592	265	1556	35,9
November	284,2	328,4	1920	256	1812	107,9
Desember	177,3	204,9	2125	265	2077	47,7
			Max			108
			Min			-51
			Volume Tangki FRP per Tahun (m ³ /Tahun)			-57
			Volume Tangki FRP per Bulan (m ³ /Bulan)			-2
			Volume Tangki FRP per Hari (m ³ /Hari)			0

Berdasarkan Tabel 28, periode musim hujan ditetapkan pada bulan Januari hingga Mei serta Oktober hingga Desember. Penentuan periode tersebut didasarkan pada tingginya curah hujan harian dan jumlah hari hujan yang relatif lebih banyak berdasarkan data curah hujan tahun 1996-2025. Berdasarkan Tabel 28, selama musim hujan defisit terbesar terjadi pada bulan Maret sebesar 50,7 m³. Hasil simulasi menunjukkan bahwa simulasi saat musim hujan tidak diperlukan tangki penyimpanan karena hasil akumulasi menunjukkan kapasitas tangka yang dibutuhkan sebesar -2 m³ per bulan. Kebutuhan kapasitas tersebut relatif kecil karena *surplus* air hujan yang terjadi pada beberapa bulan mampu mengompensasi seluruh volume *defisit*.

Berbeda dengan musim hujan, kondisi paling kritis terjadi pada musim kemarau akibat rendahnya curah hujan yang menyebabkan ketersediaan air hasil pemanenan menurun secara signifikan. Kondisi tersebut mengakibatkan defisit air menjadi lebih besar sehingga kapasitas tangki penyimpanan perlu ditentukan berdasarkan hasil simulasi pada periode musim kemarau. Oleh karena itu, analisis kapasitas tangki FRP untuk kondisi kritis dilakukan menggunakan simulasi musim kemarau (Tabel 29).

Tabel 29 Volume tangki penyimpanan simulasi saat musim kemarau

Bulan	R80 (mm)	S (m ³)	Akumulasi (m ³)	Ab (m ³)	Akumulasi (m ³)	Selisih (m ³)
Jun	138,4	159,9	160	256	256	-96,533
Jul	115,6	133,6	294	265	521	-227,963
Aug	95,7	110,6	404	265	786	-382,389
Sep	105,9	122,4	526	256	1043	-516,479
			Max			-97
			Min			-516
			Volume Tangki FRP per Tahun (m ³ /Tahun)			613
			Volume Tangki FRP per Bulan (m ³ /Bulan)			51
			Volume Tangki FRP per Hari (m ³ /Hari)			2

Berdasarkan Tabel 29, periode musim kemarau yang berlangsung dari bulan Juni hingga September menunjukkan kondisi defisit air yang lebih besar dibandingkan musim hujan. Defisit tertinggi terjadi pada bulan September dengan nilai mencapai 516,479 m³ akibat curah hujan andalan yang rendah sehingga volume air hujan yang tersedia tidak mampu memenuhi kebutuhan air WWTP sebesar 260 m³ per bulan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, kapasitas tangki

penyimpanan berbahan FRP yang diperlukan selama musim kemarau adalah sebesar 613 m³ per tahun atau setara dengan 51 m³ per bulan. Musim kemarau merupakan periode dengan ketersediaan air hujan paling rendah. Dengan demikian, kapasitas tangki FRP ditetapkan sebesar 51 m³ per bulan atau 613 m³ per tahun.

Kapasitas tersebut digunakan sebagai dasar dalam perancangan agar tangki mampu menyediakan cadangan air yang cukup untuk menutupi seluruh *defisit* selama musim kemarau sehingga kontinuitas pasokan air menuju WWTP dapat tetap terjaga sepanjang tahun. Dimensi tangki penyimpanan kemudian disesuaikan dengan ukuran yang tersedia di pasaran serta mempertimbangkan kondisi lahan yang ada dengan dimensi panjang 7 m, lebar 4 m, dan tinggi 2 m dengan kapasitas 56 m³ per bulan (Lampiran 7).

Selain tangki penyimpanan, terdapat tangki *overflow* dari ruang filtrasi, Kapasitas tangki *overflow* sebesar 8 m³ dengan diameter pompa *inlet* 1 inch dan spesifikasi pompa sebagai berikut:

Model : Ebara CDX 120/12
 Jenis : pompa sentrifugal *stainless steel*
 Daya : 0,9 kW ($\pm$ 1.2 HP)
 Tegangan : 380 V. 3 *phase*
 Debit kerja : 50 – 160 L/menit
 H maksimum : 19 m

Pompa yang dipilih adalah pompa *sentrifugal* Ebara CDX 120/12. Pemilihan pompa didasarkan pada hasil pencocokan antara debit rencana sebesar 40 L/menit dan *head total* sebesar 14 m terhadap kurva karakteristik pompa. Titik operasi tersebut berada pada daerah kerja pompa CDX 120/12 sehingga pompa mampu mengalirkan air sesuai kebutuhan sistem dengan kinerja yang optimal.

4.6 Perancangan Sistem *Plumbing* Air Bersih

Perencanaan jaringan distribusi air bersih diawali dengan analisis kebutuhan air harian WWTP sebagai dasar dalam menentukan dimensi pipa serta kapasitas pompa yang diperlukan. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan air bersih untuk mendukung operasional WWTP mencapai 10 m³/hari.

4.6.1 Pemakaian Air Peruntukan *Hygiene* dan Sanitasi

- a) Pemakaian air dalam sehari

$$Q_d = 10 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Untuk mengantisipasi kebutuhan air lainnya ditetapkan safety factor sebesar 20%. maka :

$$Q_d = (10 \times 20\%) + 10 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_d = 12 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- b) Pemakaian air rata-rata dalam sehari per jam

$$Q_h = Q_d/T$$

$$= 12 \text{ m}^3/\text{hari} / 24 \text{ jam}$$

$$= 0,5 \text{ m}^3/\text{jam}$$

- c) Pemakaian air di jam puncak

Kebutuhan harian

$$Q_{h-\max} = c_1 \times Q_h$$

$$= 2 \times 0,5 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 1 \text{ m}^3/\text{jam}$$

- d) Pemakaian air di menit puncak
 Kebutuhan harian
 $Q_{m-max} = c2 \times (Q_h/60)$
 $= 3 \times (0,5 \text{ m}^3/\text{jam}/60)$
 $= 0,05 \text{ m}^3/\text{menit}$

4.6.2 Perpipaan

Sistem perpipaan merupakan salah satu komponen utama dalam sistem pemanenan air hujan yang berfungsi mendistribusikan air hasil pengolahan menuju titik pemanfaatan. Perencanaan diameter pipa harus disesuaikan dengan debit aliran yang direncanakan agar air dapat mengalir pada kecepatan yang memenuhi kriteria hidraulis tanpa menyebabkan kehilangan energi yang berlebihan. Oleh karena itu, penentuan dimensi pipa distribusi perlu mempertimbangkan kebutuhan air serta kapasitas sistem sehingga proses penyaluran air dapat berlangsung secara efektif dan efisien. Penggunaan diameter pipa yang terlalu kecil berpotensi meningkatkan kehilangan tekanan (*headloss*) dan menurunkan tekanan aliran sedangkan diameter yang terlalu besar dapat menyebabkan biaya konstruksi menjadi lebih tinggi tanpa memberikan manfaat yang sebanding.

Penentuan dimensi pipa air bersih bertujuan menghasilkan jaringan distribusi yang mampu mengalirkan debit rencana secara optimal dengan tetap memperhatikan kehilangan energi dan karakteristik hidraulis aliran. Menurut Sudrajat (2024), ukuran pipa yang sesuai merupakan salah satu faktor penting dalam menjaga kinerja sistem distribusi air. Sebaliknya, pemilihan diameter pipa yang tidak tepat dapat menurunkan efisiensi sistem akibat meningkatnya kehilangan tekanan maupun pembengkakan biaya konstruksi (Semaan *et al.* 2020). Berdasarkan pertimbangan tersebut, perhitungan diameter pipa dilakukan menggunakan debit rencana dan kriteria desain hidraulis (Tabel 30).

Tabel 30 Rekapitulasi diameter pipa

Pipa	Diameter pipa (mm)	Diameter pipa pasaran (mm)	Diameter pipa pasaran (inch)
Pipa distribusi	13,33	22	1/2

Hasil perhitungan pada Tabel 30 menunjukkan bahwa diameter pipa distribusi yang dibutuhkan adalah sebesar 13,33 mm. Namun, ukuran tersebut tidak tersedia dalam standar pipa komersial sehingga dipilih pipa berdiameter 22 mm atau setara dengan 12 inci. Penggunaan diameter yang sedikit lebih besar dibandingkan hasil perhitungan merupakan praktik yang umum dalam perencanaan jaringan perpipaan karena mampu mengurangi kehilangan tekanan sepanjang jalur distribusi serta memberikan kapasitas aliran yang lebih memadai.

4.6.3 Spesifikasi Pompa

Pertimbangan penting dalam memilih pompa meliputi berbagai jenis, ukuran, dan penggunaan yang beragam sehingga perlu dilakukan seleksi pompa yang tepat sesuai kebutuhan. Kapasitas pompa yang dibutuhkan dengan debit sebesar 17 l/menit adalah pompa *centrifugal* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Model : Ebara 2CDXM 70/12

Jenis	: pompa <i>sentrifugal horizontal multistage (dual impeller)</i>
Daya	: 0.9 kW ($\pm$ 1.2 HP)
Tegangan	: 220 – 240 V. 1 <i>phase</i>
Debit kerja	: 20 – 80 L/menit
H maksimum	: 44.5 m
Material	: <i>stainless steel</i> AISI 304
Q	: 20 – 80 l/menit
Proteksi	: IP55



Gambar 7 Pompa distribusi

Pompa yang dipilih adalah pompa sentrifugal multistage Ebara CDXM 70/12. Pemilihan pompa didasarkan pada hasil pencocokan antara debit rencana sebesar 17 L/menit dan *head total* sebesar 40,2 m terhadap kurva karakteristik pompa (Gambar 7). Titik operasi tersebut berada pada daerah kerja pompa CDXM 70/12 sehingga pompa mampu mengalirkan air sesuai kebutuhan sistem dengan kinerja yang optimal. Pompa Ebara CDXM 70/12 memiliki konstruksi *multistage* berbahan *stainless steel* yang dirancang untuk menghasilkan *head* tinggi pada debit relatif rendah. Karakteristik tersebut sesuai dengan kebutuhan sistem distribusi air hujan yang memerlukan tekanan cukup untuk mengatasi perbedaan elevasi, kehilangan energi akibat gesekan pipa, serta tekanan sisa pada titik penggunaan. Selain itu, penggunaan pompa *multistage* dapat meningkatkan stabilitas aliran dan menjaga kontinuitas suplai air selama proses distribusi.

Berdasarkan spesifikasi pabrikan, pompa Ebara CDXM 70/12 memiliki kapasitas operasi pada rentang debit 20–80 L/menit dengan *head* maksimum mencapai sekitar 44,5 m. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan *head total* sistem sebesar 40,2 m sehingga pompa memiliki cadangan *head* yang memadai untuk mengantisipasi fluktuasi kondisi operasi. Dengan demikian, pompa yang dipilih dinilai mampu memenuhi kebutuhan distribusi air pada sistem pemanenan air hujan yang dirancang.

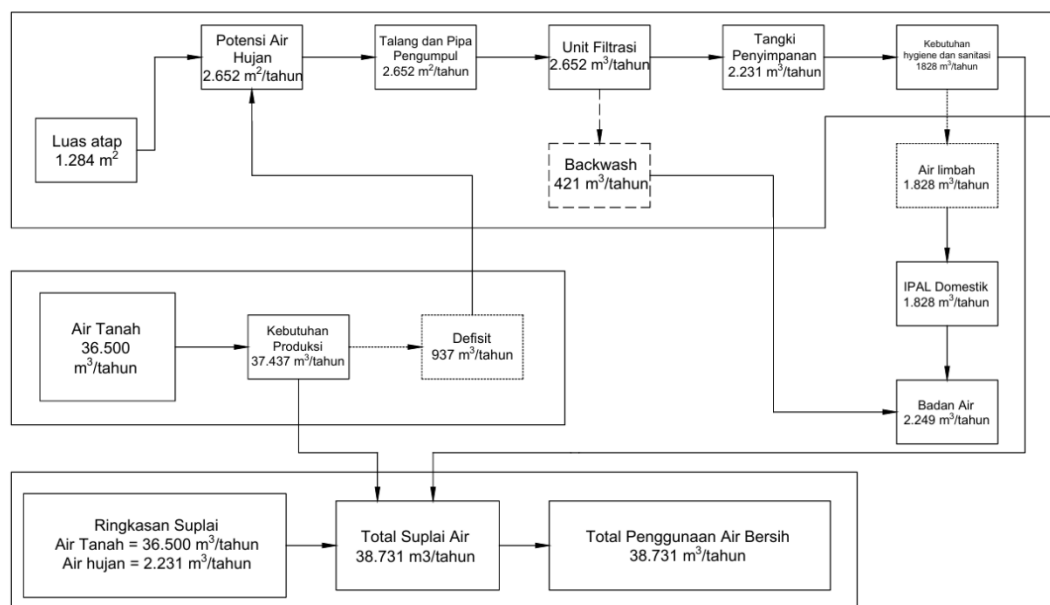
4.7 Desain Sistem Plumbing Air Bersih

Perancangan plumbing air bersih untuk kebutuhan *hygiene* dan sanitasi WWTP disusun berdasarkan hasil perhitungan debit rencana, luas area tangkapan, serta kapasitas setiap unit pengolahan yang telah ditentukan pada tahap perencanaan. Sistem ini dirancang untuk mengalirkan air hujan dari permukaan atap menuju tangki penyimpanan kemudian didistribusikan melalui jaringan perpipaan untuk memenuhi kebutuhan *hygiene* dan sanitasi WWTP (Lampiran 3). Secara keseluruhan, sistem pemanenan air hujan terdiri atas area penangkapan air hujan (*collection area*), talang air hujan, perpipaan yang menghubungkan talang dengan unit filtrasi, tangki penyimpanan, tangki *overflow*, pipa luapan, dan pipa distribusi air hasil olahan (Lampiran 4). Talang air hujan dirancang berbentuk trapesium dengan dimensi lebar atas 0,45 m, lebar bawah 0,35 m, dan tinggi 0,50 m serta

dihubungkan dengan pipa PVC berdiameter 300 mm untuk mengalirkan air hujan menuju unit filtrasi (Lampiran 5). Unit filtrasi dirancang dengan dimensi panjang 2,8 m, lebar 1,4 m, dan tinggi 1,85 m yang dilengkapi media filtrasi serta pipa *backwash* untuk menjaga kinerja penyaringan (Lampiran 6). Air hasil filtrasi selanjutnya dialirkan menuju tangki penyimpanan berukuran $7 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ untuk menampung air hasil olahan sebelum didistribusikan ke kebutuhan *hygiene* dan sanitasi WWTP (Lampiran 7). Apabila volume air di dalam tangki penyimpanan telah mencapai kapasitas maksimum, kelebihan air akan dialirkan melalui pipa luapan menuju tangki *overflow* berukuran $2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ sehingga mencegah terjadinya limpasan dari tangki utama dan menjaga keamanan operasional sistem (Lampiran 8).

4.8 Neraca Air

Neraca air merupakan metode yang digunakan untuk menilai keseimbangan antara ketersediaan air dan kebutuhan air dalam suatu sistem. Analisis ini berfungsi untuk mengevaluasi kemampuan air hujan yang dipanen dalam memenuhi kebutuhan pengguna. Dalam perencanaan sistem *rainwater harvesting*, neraca air menjadi salah satu pendekatan yang paling banyak digunakan karena mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai hubungan antara suplai air hujan, kapasitas penyimpanan, dan kebutuhan air (Gambar 8).



Gambar 8 Neraca air pemanenan air hujan per tahun

Berdasarkan Gambar 8, sistem penyediaan air bersih di industri memanfaatkan dua sumber utama yaitu air tanah dan air hujan. Air hujan ditangkap melalui atap bangunan seluas 1.284 m^2 yang menghasilkan potensi pemanenan sebesar $2.652 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Seluruh air hujan tersebut dialirkan melalui talang dan pipa pengumpul menuju unit filtrasi untuk meningkatkan kualitas air sehingga layak dimanfaatkan. Selama proses pengolahan terjadi kehilangan air akibat proses *backwash* sebesar $421 \text{ m}^3/\text{tahun}$ atau sekitar 15,88% dari total air yang masuk ke unit filtrasi. Dengan demikian, volume air bersih yang berhasil dimanfaatkan dan

disimpan dalam tangki penyimpanan sebesar 2.231 m³/tahun sehingga efisiensi unit filtrasi mencapai sekitar 84,12%.

Air hasil pemanenan yang telah ditampung selanjutnya dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air kegiatan *hygiene* dan sanitasi sebesar 1.828 m³/tahun. Air yang telah digunakan menjadi air limbah domestik dengan jumlah yang sama kemudian diolah melalui IPAL domestik sebelum dialirkan ke badan air. Selain efluen IPAL domestik, air hasil proses *backwash* juga dibuang ke badan air sehingga total debit yang dilepas ke badan air mencapai 2.249 m³/tahun yang merupakan penjumlahan antara air *backwash* sebesar 421 m³/tahun dan efluen IPAL domestik sebesar 1.828 m³/tahun.

Sementara itu, kebutuhan air untuk proses produksi mencapai 37.373 m³/tahun sedangkan pasokan air tanah hanya sebesar 36.500 m³/tahun. Oleh karena itu, sistem pemanenan air hujan berperan sebagai sumber air alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan air tanah. Berdasarkan diagram, total suplai air yang berasal dari air tanah sebesar 36.500 m³/tahun dan air hujan hasil pengolahan sebesar 2.231 m³/tahun menghasilkan total suplai air sebesar 38.731 m³/tahun. Nilai tersebut sama dengan total penggunaan air bersih sebesar 38.731 m³/tahun sehingga menunjukkan bahwa neraca air telah memenuhi prinsip keseimbangan massa (*mass balance*), yaitu total masukan sama dengan total keluaran.

Penerapan sistem pemanenan air hujan pada industri ini memberikan manfaat dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya air, mengurangi eksploitasi air tanah, serta menyediakan sumber air alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan nonproses, khususnya *hygiene* dan sanitasi. Dengan memanfaatkan 2.231 m³/tahun air hujan hasil pengolahan, industri dapat mengurangi penggunaan air tanah dalam jumlah yang sama sehingga mendukung upaya konservasi air tanah dan penerapan pengelolaan sumber daya air yang lebih berkelanjutan. Selain itu, adanya unit filtrasi dan pengolahan air limbah melalui IPAL domestik memastikan bahwa air yang dimanfaatkan maupun dibuang ke badan air tetap memenuhi aspek pengelolaan lingkungan yang baik.

4.9 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya (RAB) konstruksi disusun sebagai dasar dalam memperkirakan besarnya biaya yang diperlukan dalam pembangunan sistem yang direncanakan. Perhitungan biaya dilakukan mengacu pada kebutuhan setiap komponen konstruksi yang meliputi material dan peralatan yang dibutuhkan agar sistem dapat dibangun dan beroperasi sesuai desain. Penyusunan RAB bertujuan memberikan gambaran mengenai total investasi yang diperlukan serta acuan dalam pelaksanaan dan pengendalian biaya selama proses konstruksi berlangsung. Penyusunan rencana anggaran biaya disusun berdasarkan jumlah material atau peralatan yang diperlukan, satuan, harga satuan, dan jumlah (Tabel 31).

Tabel 31 Rencana anggaran biaya konstruksi

No	Uraian	Jumlah	Satuan	Harga satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Pipa talang PVC AW 12"	5	m	424.000	2.120.000
2	Pipa talang PVC AW 8"	5	m	350.000	1.750.000
3	Pipa PVC AW 4"	2	m	107.000	214.000

Tabel 31 Rencana anggaran biaya konstruksi (*lanjutan*)

No	Uraian	Jumlah	Satuan	Harga satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
4	Pipa PVC AW 1 ¼"	1	m	22.000	22.000
5	Pipa PVC AW 1"	6	m	12.000	72.000
6	Pipa PVC AW ½"	46	m	13.000	598.000
7	Pipa <i>stainless steel</i> 12"	0.5	m	3.600.000	1.800.000
8	Elbow 90 AW 12"	2	buah	680.000	1.360.000
9	Elbow 90 AW 8"	1	buah	115.000	115.000
10	Elbow 90 AW ½"	5	buah	5.000	25.000
11	Reducer AW 12" x 8"	1	buah	1.078.000	1.078.000
12	Reducer AW 4" x 1 ¼"	1	buah	27.000	27.000
13	Socket drat luar 1 ¼"	2	buah	7.175	14.350
14	Socket drat luar 1"	2	buah	5.250	10.500
15	Flange <i>soft</i> 12"	1	buah	3.000.000	3.000.000
16	Flange PVC 12"	2	buah	1.400.000	2.800.000
17	Flange PVC AW 8"	4	buah	362.600	1.450.400
18	Flange PVC AW 4"	4	buah	90.000	360.000
19	Klem plat besi 12"	3	buah	80.750	242.250
20	Talang <i>stainless steel</i>	43	m	450.000	19.350.000
21	Bracket talang	75	buah	35.000	2.625.000
22	Pompa Ebara 2CDXM 70/12	1	buah	10.014.653	10.014.653
23	Pompa Ebara CDX 120/12	1	buah	9.000.000	9.000.000
24	Tangki FRP 56 m ³	1	buah	112.000.000	112.000.000
25	Tangki FRP 8 m ³	1	buah	16.000.000	16.000.000
26	Valve 8"	1	buah	1.267.000	1.267.000
27	Pasir silika	780	Kg	5.000	3.900.000
28	<i>Bio ceramic ball</i>	130	Kg	70.000	9.100.000
Total					200.315.153

Biaya instalasi untuk keseluruhan sistem PAH dihitung menurut HSPK harga ketersediaannya di pasaran. Menurut perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 31, biaya instalasi yang diperlukan untuk keseluruhan PAH senilai Rp 200.315.153. Nilai tersebut belum termasuk PPN yang berlaku sebesar 12% dari jumlah anggaran terhitung menurut UU Nomor 7 Tahun 2021 dan filtrasi untuk pengolahan air.

4.10 Efektifitas dan Efisiensi Sistem Pemanenan Air Hujan

Analisis efektivitas dan efisiensi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan sistem pemanenan air hujan (SPAH) dalam memenuhi kebutuhan air sekaligus mengidentifikasi manfaat operasional yang diperoleh dari penerapannya. Tingkat efektivitas sistem pemanenan air hujan dihitung berdasarkan persentase perbandingan antara volume suplai air hujan dan kebutuhan air serta persentase jumlah hari hujan terhadap hari operasional gedung (Tabel 32).

Tabel 32 Perhitungan efektivitas sistem pemanenan air hujan per tahun

Kebutuhan air (m ³ /tahun)	Suplai (m ³)	Efektivitas (%)	Operasi gedung (Hari/tahun)	Hari suplai (Hari/tahun)	Efektivitas (%)
3162	2231	≈ 71	365	261	≈ 71

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 32, kebutuhan air mencapai 3162 m³/tahun sedangkan sistem pemanenan air hujan mampu menyediakan suplai sebesar 2231 m³/tahun. Perbandingan kedua nilai tersebut menghasilkan tingkat efektivitas sebesar 71% yang menunjukkan bahwa sebagian besar kebutuhan air operasional dapat dipenuhi melalui pemanfaatan air hujan. Nilai tersebut juga mengindikasikan bahwa karakteristik curah hujan di lokasi penelitian cukup mendukung penerapan sistem pemanenan air hujan sebagai sumber air alternatif. Efektivitas hari hujan sama dengan efektivitas suplai yaitu 71%. Dengan demikian, SPAH tidak bisa memenuhi kebutuhan operasi gedung 100% berdasarkan jumlah hari suplai, terdapat 29% jumlah hari yang tidak bisa dipenuhi dari SPAH. Selain efektivitas per tahun, juga dihitung efektivitas SPAH selama 7 bulan meliputi Februari, Juni, Juli, September, Oktober, November, dan Desember (Tabel 33).

Tabel 33 Perhitungan efektivitas sistem pemanenan air hujan selama 7 bulan

Kebutuhan air (m ³ /tahun)	Suplai (m ³)	Efektivitas (%)	Operasi gedung (Hari/tahun)	Hari hujan (Hari/tahun)	Efektivitas (%)
1496	1291	≈ 71	211	151	≈ 71

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 33, kebutuhan air mencapai 1828 m³ selama 7 bulan yaitu Februari, Juni, Juli, September, Oktober, November, dan Desember sedangkan sistem pemanenan air hujan mampu menyediakan suplai sebesar 1496 m³/tahun. Perbandingan kedua nilai tersebut menghasilkan tingkat efektivitas sebesar 71% yang menunjukkan bahwa sebagian besar kebutuhan air operasional dapat dipenuhi melalui pemanfaatan air hujan, begitupun jumlah hari suplai. Dengan demikian, terdapat 29% jumlah hari yang tidak bisa dipenuhi dari SPAH.

Persentase pemenuhan kebutuhan air yang relatif tinggi menunjukkan bahwa luas area tangkapan atap mampu menghasilkan volume air hujan yang memadai untuk dimanfaatkan sebagai sumber air baku. Selain itu, kondisi curah hujan di lokasi penelitian memberikan potensi yang baik untuk menunjang keberlangsungan sistem sepanjang tahun. Temuan ini sejalan dengan penelitian Liu *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa efektivitas sistem pemanenan air hujan sangat dipengaruhi oleh kesesuaian antara potensi curah hujan, luas area tangkapan, kapasitas penyimpanan, dan kebutuhan air pengguna. Sistem yang memiliki area tangkapan dan kapasitas penyimpanan yang memadai umumnya mampu mencapai tingkat pemenuhan kebutuhan air yang lebih tinggi.

Setelah tingkat efektivitas sistem diketahui, tahap selanjutnya adalah mengevaluasi efisiensi dari sisi ekonomi. Analisis ini bertujuan mengidentifikasi penghematan biaya operasional yang dapat diperoleh melalui pemanfaatan air hujan sebagai pengganti sebagian penggunaan air dari sumber berbayar (Tabel 34).

Tabel 34 Perhitungan pajak air

Bulan	Volume awal (m ³ /bulan)	Pajak awal (Rp)	Volume akhir (m ³ /bulan)	Pajak akhir (Rp)	Penghematan (Rp)
Januari	2915	53.522.898	2717	49.885.349	3.637.549

Tabel 34 Perhitungan pajak air (*lanjutan*)

Bulan	Volume awal (m ³ /bulan)	Pajak awal (Rp)	Volume akhir (m ³ /bulan)	Pajak akhir (Rp)	Penghematan (Rp)
Februari	2843	52.200.892	2576	47.296.633	4.904.259
Maret	2570	47.188.284	2450	44.982.825	2.205.459
April	2857	52.457.948	2588	47.515.618	4.942.330
Mei	3074	56.442.329	2827	51.898.594	4.543.735
Juni	3121	57.305.305	2980	54.713.017	2.592.288
Juli	3252	59.710.622	3139	57.640.356	2.070.267
Agustus	3093	56.791.192	2989	54.875.394	1.915.798
September	3064	56.258.717	2969	54.509.021	1.749.696
Oktober	3625	66.559.350	3377	62.002.282	4.557.068
November	3490	64.080.588	3214	59.006.767	5.073.821
Desember	3533	64.870.120	3382	62.102.747	2.767.373
Rata-rata					3.413.303

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 34, penerapan sistem pemanenan air hujan mampu menghasilkan penghematan biaya penggunaan air rata-rata Rp 3.413.303 per tahun belum termasuk biaya listrik yang berasal dari pemakaian pompa. Penghematan biaya selama 7 bulan rata-rata Rp 3.387.824. Penghematan tersebut diperoleh melalui pengurangan penggunaan air dari sumber berbayar yang sebagian kebutuhannya digantikan oleh air hujan hasil pemanenan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang tidak hanya mendukung upaya konservasi sumber daya air tetapi juga memberikan manfaat ekonomi bagi pengelola fasilitas.

Besarnya penghematan yang diperoleh menunjukkan bahwa pemanfaatan air hujan memberikan kontribusi yang nyata dalam menekan biaya operasional tahunan. Semakin besar volume air hujan yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan operasional, semakin kecil ketergantungan terhadap sumber air utama sehingga biaya penyediaan air dapat dikurangi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Lopes *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa salah satu keuntungan utama penerapan *rainwater harvesting* adalah kemampuan sistem dalam menurunkan biaya penggunaan air melalui substitusi sebagian kebutuhan air dari sumber konvensional. Selain memberikan manfaat terhadap aspek lingkungan, penerapan sistem tersebut juga mampu meningkatkan efisiensi ekonomi bangunan maupun fasilitas yang menggunakannya.

Apabila ditinjau dari volume air hujan yang berhasil dimanfaatkan selama 7 bulan maupun pertahun, sistem pemanenan air hujan memberikan nilai tambah terhadap pengelolaan sumber daya air di lokasi penelitian. Penghematan biaya ini menjadi aspek yang penting karena kebutuhan air bersifat kontinu sehingga biaya penyediaan air akan terus muncul selama fasilitas beroperasi. Hasil penelitian Chowdhury dan Akter (2026) juga menunjukkan bahwa penerapan sistem pemanenan air hujan pada bangunan maupun fasilitas operasional dapat memberikan manfaat ekonomi yang signifikan melalui pengurangan konsumsi air dari jaringan penyedia air utama. Besarnya manfaat ekonomi yang diperoleh dipengaruhi oleh volume air hujan yang dapat dimanfaatkan, tarif air yang berlaku, serta tingkat kebutuhan air pada masing-masing pengguna.

Selain menghitung kebutuhan biaya investasi pembangunan sistem pemanenan air hujan, penelitian ini juga menganalisis besarnya penghematan biaya

yang diperoleh dari pemanfaatan air hujan sebagai sumber air bersih. Penghematan dihitung berdasarkan nilai pemanfaatan air hujan yang dapat menggantikan sebagian kebutuhan air bersih setiap tahunnya. Selanjutnya, penghematan tersebut diakumulasikan dan dibandingkan dengan nilai investasi awal atau Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembangunan sistem sebesar Rp 200.315.153 (Tabel 35).

Tabel 35 Akumulasi penghematan dari SPAH

Tahun ke-	Penghematan pertahun (Rp)	Akumulasi (Rp)	Akumulasi - RAB
1	40.959.641	40.959.641	-159.355.512
2	40.959.641	81.919.282	-118.395.871
3	40.959.641	122.878.923	-77.436.230
4	40.959.641	163.838.564	-36.476.589
5	40.959.641	204.798.205	4.483.052
6	40.959.641	245.757.846	45.442.693
7	40.959.641	286.717.487	86.402.334
8	40.959.641	327.677.128	127.361.975
9	40.959.641	368.636.769	168.321.616
10	40.959.641	409.596.410	209.281.257

Berdasarkan Tabel 35, pemanfaatan air hujan melalui sistem pemanenan air hujan (SPAH) menghasilkan penghematan sebesar Rp40.959.641 per tahun. Nilai penghematan tersebut terus terakumulasi setiap tahun, namun hingga tahun ke-4 jumlah akumulasinya masih lebih kecil dibandingkan nilai investasi awal sehingga selisih antara akumulasi penghematan dan RAB masih bernilai negatif. Pada tahun ke-5, akumulasi penghematan mencapai Rp204.798.205 atau telah melampaui nilai investasi awal sebesar Rp200.315.153 dengan selisih positif Rp4.483.052. Hal ini menunjukkan bahwa investasi pembangunan sistem pemanenan air hujan telah kembali pada tahun ke-5 sehingga periode pengembalian investasi (*payback period*) sistem adalah sekitar lima tahun.

Setelah investasi kembali, penghematan yang dihasilkan dari pemanfaatan air hujan terus meningkat seiring bertambahnya umur operasional sistem. Hingga tahun ke-10, akumulasi penghematan mencapai Rp409.596.410 atau sekitar 2,04 kali nilai investasi awal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan sistem pemanenan air hujan layak secara ekonomis karena mampu mengembalikan biaya investasi dalam waktu yang relatif singkat serta memberikan manfaat ekonomi yang berkelanjutan selama masa operasionalnya.



V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dimensi talang yang direncanakan berbentuk trapesium dengan dimensi lebar atas 0,40 m, lebar bawah 0,35 m, dan tinggi 0,50 m kapasitas 0,194 m³/s. Dimensi pipa datar 300 mm dan pipa tegak 200 mm. Panjang, lebar, dan tinggi bak filtrasi direncanakan sebesar 2,8 m, 1,4 m, dan 1,85 m. Kebutuhan volume tangki penyimpanan ditetapkan sebesar 56 m³/bulan dengan dimensi panjang 7 m, lebar 4 m, dan tinggi 2 m, Diameter pipa pendistribusian yang direncanakan 0,5 inch. Filtrasi mampu meningkatkan kualitas air hujan dan memenuhi baku mutu berdasarkan Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Nilai pH meningkat dari 6,16 menjadi 6,5, kadar nitrat menurun dari 0,211 mg/L menjadi 0,041 mg/L dengan efektivitas 80,57%, dan kadar besi menurun dari 0,1108 mg/L menjadi 0,0890 mg/L dengan efektivitas 19,67%. Suplai air hujan mencapai 2.231 m³/tahun atau 186 m³/bulan selama 261 hari dengan potensi pemanfaatan rata-rata 71%.

5.2 Saran

Pengujian parameter air hujan yaitu *Escherichia coli*, *total coliform*, *total dissolved solid* (TDS), nitrit (sebagai NO₂ terlarut), kromium valensi 6 (Cr⁶⁺) (terlarut), dan mangan (Mn) (terlarut) sesuai Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 serta parameter tambahan seperti Aluminium (Al) dan Sulfat (SO₄²⁻).

DAFTAR PUSTAKA

- Abigail J. 2024. Perancangan sistem pemanenan air hujan di Asrama Internasional Kampus IPB Dramaga [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Annisa QN. 2021. Peningkatan kualitas air hujan sebagai sumber air minum melalui metode filtrasi dan adsorpsi [disertasi]. Bandar Lampung: Poltekkes Tanjungkarang.
- Ardiansyah M, Suyono S, Titisariwati I, Cahyadi TA, Kresno K. 2022. Analisis perbandingan perhitungan curah hujan rencana berdasarkan periode ulang hujan dengan Metode Gumbell, Metode Log Pearson Iii, Metode Iway Kadoya studi kasus tambang andesit. *Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan*. 1(2):52–58.
- Asnaning AR, Surya, Saputra AE. 2018. Uji Kualitas air hujan hasil filtrasi untuk penyediaan air bersih. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian. hlm 288–293.
- Bahry MFS, Musa SMS, Zainal R, Kassim N, Noh HM. 2021. Pengaplikasian sistem penuaian air hujan di tapak semaian UTHM. *Research in Management of Technology and Business*. 2(2):712-726.
- Bakhtiar F. 2024. Evaluasi kinerja saluran drainase dan pemodelan operasi pompa banjir pada kawasan Jl. Madukoro Kota Semarang [skripsi]. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Basuki IW, Adhyani NL. 2009. Analisis periode ulang hujan maksimum dengan berbagai metode. *Jurnal Agromet*. 23(2):76-92.
- Chowdhury MAH, Akter A. 2026. Evaluation of rainwater harvesting system in university buildings for non-potable water demand. *Scientific Reports*. 16(1):12836.
- Dirgawati M, Sururi MR, Ridwan YS. 2024. Perencanaan sistem pemanenan air hujan sebagai teknologi alternatif penyediaan air bersih di kawasan pemukiman kepadatan tinggi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 25(2):246-256.
- Embongbulan A, Parinding C, Sharies E, Ema SS, Pademme S, Ambali DPP. 2021. Pemanenan air hujan sebagai alternatif pengelolaan sumber daya air di rumah. *Journal Dynamic Saint*. 6(2):35-40.
- Fajar M, Ayatri R, Zurfi A. 2021. Perencanaan sistem pemanenan air hujan sebagai alternatif penyediaan air bersih gedung asrama TB 4 Itera. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(2):93-101.
- Fathoni IG. 2023. Perancangan sistem pemanenan air hujan untuk pengisian reservoir di Laboratorium Terpadu SIL Kampus IPB Dramaga [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Febrina W, Abdillah N. 2025. Rainwater Quality Monitoring as an Air Pollution Evaluation Strategy in Urban and Industrial Areas. *Proceeding of International Conference on Science and Technology*. 3(1):22-24.
- Fradinata A. 2025. Perencanaan akuifer buatan simpanan air hujan (ABSAH) Pada Perumahan Puri Masurai 6, Desa Tangkit, Kecamatan Sungai Gelam, Muaro Jambi [disertasi]. Jambi: Universitas Batanghari.
- Gohel J, Bhatu H, Kapupara P, Barath R. 2020. Designing rooftop rainwater harvesting system at RK University. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9(2):351-353.

- Handriyono RE, Dewi AWS. 2018. Studi kandungan asam pada air hujan di Kawasan Surabaya Timur. *ENVIROSAN: Jurnal Teknik Lingkungan*. 1(2):52-55.
- Hargono A, Waloejo C, Pandin MP, Choirunnisa Z. 2022. Penyuluhan pengolahan sanitasi air bersih untuk meningkatkan kesehatan masyarakat Desa Mengare, Gresik. *Abimanyu: Journal of Community Engagement*. 3(1):1-10.
- Harianja JA, Lase ATB, Zebua HGN. 2026. Pengolahan air hujan menjadi air layak minum menggunakan metode filtrasi. *Jurnal Teknik Sipil Ukrim*. 3(1):12-17.
- Hayati N, Purwanto A, Muladi E. 2023. CFD (*Computational Fluid Dynamic*) untuk menganalisis *head loss* akibat perubahan diameter. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*. 18(2):1-4.
- Heggi SA. Rancang bangun alat purifikasi air hujan menggunakan sistem *reverse osmosis* bertenaga surya [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Indriatmoko RH, Rahardjo N. 2015. Kajian pendahuluan sistem pemanfaatan air hujan. *Jurnal Air Indonesia*. 8(1):105-114.
- Laia ML, Setyawan Y. 2020. Perbandingan hasil klasifikasi curah hujan menggunakan metode SVM dan NBC. *Jurnal Statistika Industri dan Komputasi*. 5(2):51-61.
- Levizzani V, Cattani E. 2019. Satellite Remote Sensing of Precipitation and the Terrestrial Water Cycle in a Changing Climate. *Remote Sens*. 11(2301):1-41.
- Lilipaly IP, Badriani RE, Dhokhikah Y. 2021. Perencanaan sistem plambing dan hidran kebakaran pada proyek pembangunan hotel pesona alam. *Paduraksa*. 10(2):266-279.
- Liu Z, Chen W, Zhang J. 2024. Study on the performance temporal variation of rainwater harvesting systems based on the dynamic change of rainfall pattern and domestic water demands. *Scientific Reports*. 14(1):23566.
- Lopes VA, Marques GF, Dornelles F, Medellin-Azuara J. 2017. Performance of rainwater harvesting systems under scenarios of non-potable water demand and roof area typologies using a stochastic approach. *Journal of cleaner production*. 148(1):304-313.
- Kamil MFI. 2021. Analisis data curah hujan yang hilang dengan menggunakan metode rata-rata aljabar dan metode resiprokal di Stasiun Cibeureum Kertasari, Cicalengka, dan Ciherang [disertasi]. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Kansil JS, Pondaag H. 2024. Kajian hukum lingkungan hidup dalam pengelolaan sumber daya air di Kelurahan Tifure. *Lex Privatum*. 14(4):1-15.
- Kharisma S, Widomurti L. 2018. Analisis hujan lebat dengan menggunakan data citra satelit di Kabupaten Banjarnegara (Studi Kasus 18 Juni 2016). *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. 8(1):36-43.
- Krisnayanti DS, Yosafath YT, Pah JJ. 2019. Efisiensi pemanfaatan air dengan sarana penampungan air hujan pada rumah warga kota kupang. *Jurnal Teknik Sipil*. 8(2):165-178.
- Kurniawan. 2019. Distribution fitting on rainfall data in Jakarta. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 1-8.
- Kurniawan EA, Wijaksana IK, Ramadani R. 2023. Kajian penyediaan air bersih alternatif melalui pemanenan air hujan di Kawasan Industri Citatah. *Jurnal*

- Inovasi Pertambangan dan Lingkungan*. 3(1):34-42.
- Marni E. 2019. Analisis potensi pemanenan air hujan sebagai salah satu alternatif penghematan pemakaian air tanah pada kawasan Universitas Ekasakti. *Journal of Scientech Research and Development*. 25(2):246-256.
- Maryono A. 2020. *Memanen Air Hujan*. Yogyakarta: UGM PRESS.
- Muflih GZ, Sunardi S, Yudhana A. 2019. Jaringan saraf tiruan backpropagation untuk prediksi curah hujan di wilayah Kabupaten Wonosobo. *MUST: Journal of Mathematics Education, Science and Technology*. 4(1):45-56.
- Nurpradipta A, Putra ES. 2017. Perencanaan Sistem Jaringan Air Bersih dan Air Limbah pada Gedung Namira Hotel [skripsi]. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nurul R. 2021. Peningkatan kualitas air hujan sebagai sumber air minum melalui metode filtrasi sederhana [tesis]. Bandar Lampung: Poltekes Tanjungkarang.
- Mugagga F, Nabaasa BB. 2016. The centrality of water resources to the realization of Sustainable Development Goals (SDG). A review of potentials and constraints on the African continent. *International Soil and Water Conservation Research*. 4(3):215-223.
- Nazharia, Mulyani S. 2014. Perhitungan pembiayaan pemanenan air hujan sebagai sistem penyediaan air bersih dalam berbagai skala di Kelurahan Sukajadi Kota Dumai. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota B SAPPK*. 2(1):79-88.
- Nelvidawati N, Kasman M. 2023. Penggunaan korelasi spearman untuk menguji hubungan suhu dan besarnya curah hujan bulanan di Kota Padang. *Jurnal Daur Lingkungan*. 6(1):34-39.
- Noerbambang SM, Morimura T. 2005. *Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plumbing*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Nurdin A, Lembang D, Kasmawati. 2019. Model pemanenan dan pengolahan air hujan menjadi air minum. *Jurnal Teknik Hidro*. 12(2):11-19.
- Nurhijriah L, Ruhiat Y, Saefullah A, Rostikawati DA. 2022. Distribusi curah hujan rata-rata menggunakan metode Isohyet di Wilayah Kabupaten Tangerang. *Newton-Maxwell J. Phys*. 3(2):46-55.
- Pahilda WR, Yustiani YM, Wahyuni S. 2017. Studi efisiensi pengolahan air hujan menjadi air minum menggunakan reaktor kombinasi *filter treated natural* zeolit, karbon aktif, dan *melt blown filter cartridge* [tesis]. Bandung: Universitas Pasundan.
- [Permen PU] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. 2009. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan. 2009.
- [Permenkes] Peraturan Menteri Kesehatan. 2023. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. 2023.
- Prasetyo B, Irwandi H, Pusparini N. 2018. Karakteristik curah hujan berdasarkan ragam topografi di Sumatera Utara. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. 19(1):11-20.
- Pratiwi D, Fitri A, Dewantoro F, Lestari F, Pratama R, Kurniawan W. 2022. Pemanenan air hujan sebagai alternatif penyediaan air bersih di Desa Banjarsari, Kabupaten Tanggamus. *Journal of Technology and Social for Community Service (JTSCS)*. 3(1):55-62.
- Pryambodo DG, Supriyadi. 2015. Zonasi penurunan muka air tanah di wilayah

pesisir berdasarkan teknik geofisika gayabarat mikro 4d (Studi kasus: Daerah Industri Kaligawe - Semarang). *Jurnal Kelautan Nasional*. 10(3):151-162.

- Putradieska D. 2021. Analisis dan perbaikan kualitas produksi *packaging* dengan menggunakan pendekatan dmaic (Studi Kasus PT Yogyakarta Mega Grafika, Yogyakarta) [skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Rahmawati LA, Saputra IH, Febrianti E, Abrori AN, Lestari RWP, Putri KE. 2026. Sosialisasi penggunaan air hujan sebagai air baku bagi rumah tangga di Desa Kedungadem Kecamatan Kedungadem Bojonegoro: Socialization Program on the Use of Rainwater as a Raw Water Source for Households in Kedungadem Village Kedungadem District Bojonegoro Regency. *Darma Diksani: Jurnal Pengabdian Ilmu Pendidikan, Sosial, dan Humaniora*. 6(2):194-205.
- Rahmayanti AE, Soewondo P. 2015. Penyediaan air minum di daerah pesisir kota bandar lampung melalui *rainwater harvesting*. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 21(2):115-126.
- Ridwan R, Oktafri O, Amin M, Berdikari RA. 2022. Uji kinerja *portable rainfall* simulator pada berbagai tekanan untuk mengukur keseragaman dan intensitas hujan. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*. 1(4):482-489.
- Rifai M. 2022. Pengelolaan terhadap pemanfaatan air tanah di Kabupaten Demak. *Matriks Teknik Sipil*. 10(1):1-7.
- Rizky AMAN, Hanurawati NY, Wahyudi P, Iqbal M. 2025. The effect of variations in contact time of silica sand and activated sand in simple filtraton devices on reducing Fe levels in clean water. *Environmental Health and Safety Journal*. 2(1):21-28.
- Rosadi PE, Irawan AB. 2026. Perbandingan dan pemilihan metode distribusi probabilitas dalam perhitungan nilai curah hujan rencana di tambang batubara PT Madhani Talatah Nusantara. *Jurnal Teknologi Pertambangan*. 11(2):73-80.
- Rosyadi AI, Nindita V, Wibawa BA. 2023. Sudut pandang konsumen, supervisor, dan *design engineers* mengenai sistem plumbing perumahan. *UMPAK: Jurnal Arsitektur dan Lingkungan Binaan*. 6(2):86-90.
- Ruhat D. 2022. Implementasi distribusi peluang gumbel untuk analisis data curah hujan rencana. *Teorema: Teori dan Riset Matematika*. 7(1):213-224.
- Rusmayadi G. 2013. Panjang periode minimum dalam analisis data iklim. *Agroscientiae*. 20(2):91-97.
- Saputra R, Ramadani F, Syafriani PS, Al-Ghufran MF, Zahra S, Asyari N, Khairunnisa SA, Oktavianda J, Habsyi FA, Hamidah R. 2025. Penerapan sistem filtrasi air hujan sebagai sumber air bersih alternatif di RT 29 Sungai Tengkorak Kelurahan Keramasan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bhinneka*. 4(2):2310-2322.
- Saputro ND, Mulyani T, Sukmadewi YD, Tilman AM. 2025. Analisis kewenangan penerbitan surat izin pengambilan dan pemanfaatan air permukaan. *Semarang Law Review (SLR)*. 6(1):118-135.
- Sattuang H, Mustari K, Syahrul M. 2020. Analisis efektivitas instalasi pengolahan air limbah domestik studi kasus Batikite Resort Janeponto. *Jurnal Ecosolum*. 9(1): 56-68.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia Nomor 2415 Tahun 2016 tentang Tata Cara

- Perhitungan Debit Banjir Rencana. 2016.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia Nomor 7065 Bagian 3 Tahun 2005 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Plumbing. 2005.
- Sappewali, Muke CM, Armus R, Aminah S. 2024. Pengaruh variasi ketebalan filtrasi terhadap penurunan kadar besi (Fe) air Sumur Gali. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. 15(2):33-42.
- Semaan M, Day SD, Garvin M, Ramakrishnan N, Pearce A. 2020. Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review. *Resources, Conservation & Recycling*. 6(1):100033.
- Sudrajat MH. 2024. Perancangan sistem plambing air hasil olahan IPAL untuk *flushing toilet* gedung KMSI di PT United Tractors TBK [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Suhadi S, Mabruroh F, Wiyanto A, Ikra I. 2023. Analisis fenomena perubahan iklim terhadap curah hujan ekstrim. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*. 7(1):94-100.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: ANDI.
- Syahputra A, Arifitama B. 2018. Pengembangan alat peraga edukasi proses siklus air (hidrologi) menggunakan teknologi *Augmented Reality*. *Semnasteknomedia Online*. 6(1):2-11.
- Tamimah N, Budiyo EN, Amandatari ANS. 2026. *Sistem Perpipaan dan Pengolahan Air Kotor Berbasis Biofilter Aerobik*. Banjar: Ruang Karya.
- Tan V, Wora M. 2021. Kajian pemanfaatan air hujan sebagai pemenuhan kebutuhan air bersih di Pulau Ende. *TEKNOSIAR*. 15(1):9-16.
- Untari T, Kusnadi J. 2015. Pemanfaatan air hujan sebagai air layak konsumsi di Kota Malang dengan metode modifikasi filtrasi sederhana. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 3(4):1492-1502.
- Upomo TC, Kusumawardani R. 2016. Pemilihan distribusi probabilitas pada analisa hujan dengan metode *goodness of fit test*. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. 18(2):139-148.
- Urbayanti I, Sriwinarno H, Basuki B. 2022. Studi kelayakan pengembangan aspek teknis dan finansial pengembangan sistem penyediaan air minum tingkat pabrika di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 22(1):32-45.
- Wahyudi HD, Aini S. 2021. Pemanfaatan air hujan sebagai sumber air bersih dengan menggunakan filter serbuk keramik. *Prosiding (SIAR) Seminar Ilmiah Arsitektur*. hlm 338-345.
- Zainal E. 2021. Distribusi probabilitas curah hujan pada daerah aliran Sungai Kuranji. *Jurnal Rekayasa*. 11(1):17-26.
- Zulfikar FM. 2024. Perancangan pemanenan air hujan dengan konsep *roof catchment* di Gedung Mandiri Innopreneurship Center IPB University. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Zuliarti A, Saptomo KS. 2021. Perancangan penampungan air hujan dengan filtrasi sederhana skala unit rumah di perumahan villa citra bantarjati. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 6(3):159-176.