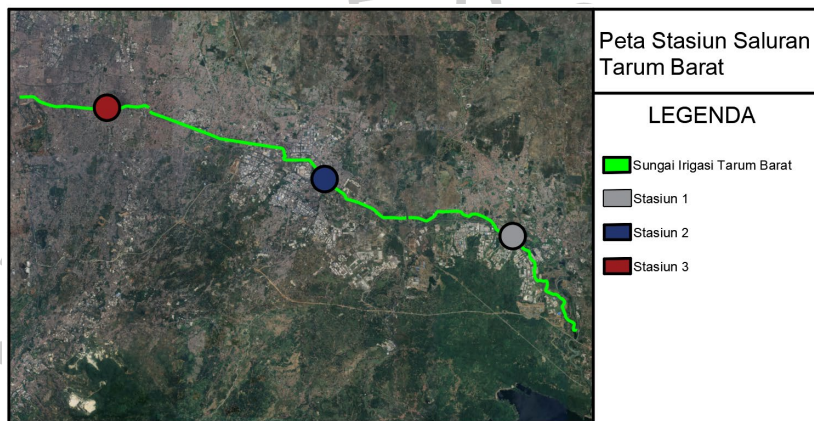


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Polutan Air Sungai Saluran Tarum Barat

Pada tahun 2020, Sungai Saluran Tarum Barat telah diuji kondisi polutannya oleh Cristable *et al.* (2020) dengan bantuan Perum Jasa Tirta II. Pengujian dilakukan di tiga stasiun, yaitu bagian awal, tengah, dan akhir Sungai Tarum Barat. Gambar 2.1 menunjukkan lokasi stasiun dan Tabel 2.1 menampilkan data hasil pengukuran polutan pada penelitian tersebut.



Gambar 2. 1 Peta Stasiun Saluran Tarum Barat
Sumber : Google Earth Pro

Tabel 2. 1 Data Polutan Pada Ketiga Stasiun

Parameter	Satuan	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
Temperature	°C	27,3	29,0	28,7
Turbidity	NTU	17,3	61,1	56,3
Total Solids (TS)	Mg/L	59	348	301
pH	pH unit	8,06	7,93	7,90
Dissolved Oxygen (DO)	%	65,43	62,65	70,06
Biological Oxygen Demand (BOD)	Mg/L	12,6	21	10
Fosfat	Mg/L	0,34	3,9	0,25
Nitrat	Mg/L	0,13	0,20	1,08
Fecal Coliform	CFU/100 mL	2826	3975	6333

Sumber : (Cristable *et al.*, 2020)

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada stasiun pertama, polutan yang mengkhawatirkan adalah *fecal coliform*; pada stasiun kedua, polutan yang paling bermasalah adalah *Turbidity*, TS, DO, BOD, kandungan fosfat, dan *fecal coliform*; sedangkan pada stasiun ketiga polutan utamanya adalah *Turbidity*, TS, BOD, dan *fecal coliform*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa polutan yang perlu menjadi pertimbangan pada penelitian ini adalah *Turbidity*, TS, BOD, dan *fecal coliform*.

Sedangkan parameter DO dan Fosfat tidak dipertimbangkan karena hanya terjadi pada satu stasiun.

2.2 Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023, yang dimaksud dengan standar baku mutu kesehatan lingkungan adalah “spesifikasi teknis atau nilai yang dibakukan pada media lingkungan yang berhubungan atau berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat”. Penelitian ini mengacu pada standar baku untuk keperluan higiene sanitasi dengan detail parameter yang tertera pada Tabel 2.1, 2.2, dan 2.3.

Tabel 2. 2 Parameter Fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1	Kekeruhan	NTU	3
3	<i>Total Dissolve Solid</i>	Mg/L	300
4	<i>Total Suspended Solid</i>	Mg/L	40
5	Suhu	°C	Suhu udara \pm 3

Sumber : Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023

Tabel 2. 3 Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1	<i>Total Coliform</i>	CFU/100ml	1000
2	<i>Fecal Coliform</i>	CFU/100ml	100
3	<i>E. coli</i>	CFU/100ml	0

Sumber : Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023

Tabel 2. 4 Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan higiene Sanitasi

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1	pH	Mg/L	6,5 – 8,5
2	Besi	Mg/L	0,2
1	Mangan	Mg/L	0,1
2	Nitrat, sebagai NO ³	Mg/L	20
3	Nitrit, Sebagai NO ₂	Mg/L	3
4	BOD	Mg/L	2
5	Kromium Valensi 6	Mg/L	0,01

Sumber : Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023

2.3 Status Mutu Air Sungai

Status mutu air dievaluasi menggunakan metode. Metode STORET didasarkan pada paduan US EPA (*United States Enviromental Protection Agency*). Cara kerja metode STORET adalah dengan membandingkan hasil uji laboratorium masing-masing polutan. Jika polutan memenuhi kriteria maka skor polutan adalah 0.

Sedangkan apabila polutan tidak memenuhi maka skor polutan sesuai dengan angka yang tertera pada Tabel 2. 5. Setelah skor masing-masing polutan didapatkan maka dijumlah untuk mendapatkan status mutu air sungai sesuai dengan Tabel 2. 6 (Nufutomo, Manalu, & Muntalif, 2023).

Tabel 2. 5 Skor STORET

Number of Samples	of Value	Parameter		
		Physical	Chemical	Biological
<10	Minimum	-1	-2	-3
	Maximum	-1	-2	-3
	Average	-3	-6	-9
>10	Minimum	-2	-4	-6
	Maximum	-2	-4	-6
	Average	-6	-12	-18

Sumber : Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.

Tabel 2. 6 Klasifikasi Status Mutu Air Menurut Metode STORET

No	Nilai STORET	Kategori/Kelas	Status Mutu Air
1	0	A	Memenuhi baku mutu
2	-1 s/d -10	B	Cemar ringan
3	-11 s/d -30	C	Cemar sedang
4	≥ 31	D	Cemar berat

Sumber : Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.

2.4 Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane

Lokasi penelitian terletak di Sungai Tarum Barat, yang termasuk dalam wilayah sungai Ciliwung-cisadane, bagian DAS Bekasi. Pola pengelolaan menjelaskan bahwa wilayah sungai Ciliwung-Cisadane menggunakan standar perhitungan kebutuhan air domestik dan non domestik seperti yang tertera pada Tabel 2. 7.

Tabel 2. 7 Standar Perhitungan Kebutuhan Air Dometik

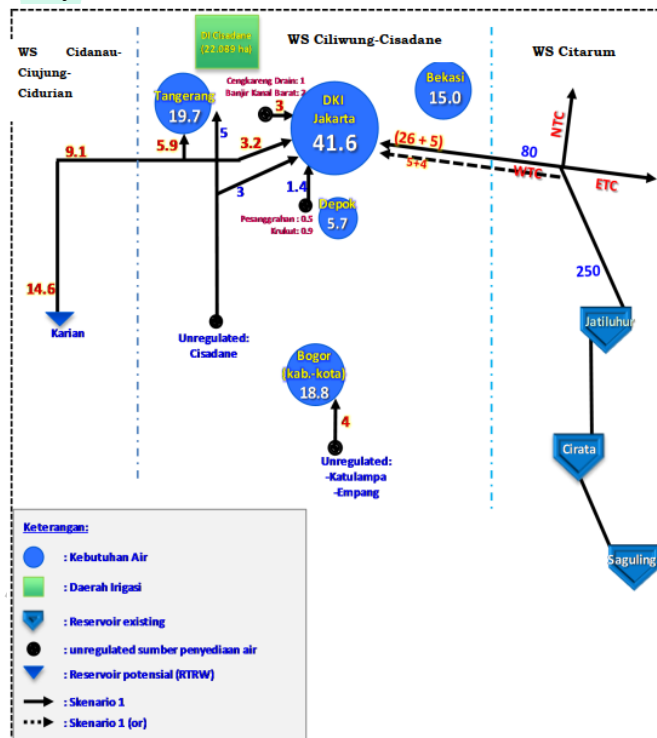
Kategori Kota	Jumlah Penduduk	Liter/kapita/hari	Sistem
Kota Metropolitan	>1.000.000	190	Non standar
Kota Besar	500.000-1.000.000	170	Non standar
Kota Sedang	100.000-500.000	150	Non standar
Kota Kecil	20.000-100.000	130	Standar BNA
Kota Kecamatan	<20.000	100	Standar IKK
Kota Pusat Pertmbuhan/Desa	3000	30	Standar DPP

Sumber : Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane (BBWS Ciliwung-Cisadane)

Sumber daya air di Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane dianalisis untuk memenuhi kebutuhan air RKI (Rumah Tangga, Perkotaan, Industri, dan Pariwisata), yang diperoleh melalui data Podes Tahun 2008 dengan proyeksi hingga 2030. Pada tahun 2010, jumlah penduduk tercatat sebanyak 27.549.884 jiwa dengan kebutuhan air sebesar 49,120 m³/detik. Sementara itu, pada tahun 2030, jumlah penduduk diperkirakan meningkat menjadi 34.615.024 jiwa dengan kebutuhan air mencapai 61,490 m³/detik.

Kebutuhan air yang dianalisis mempunyai skema pemenuhan kebutuhan air yang dibagi menjadi empat skenario, skenario tersebut antara lain adalah :

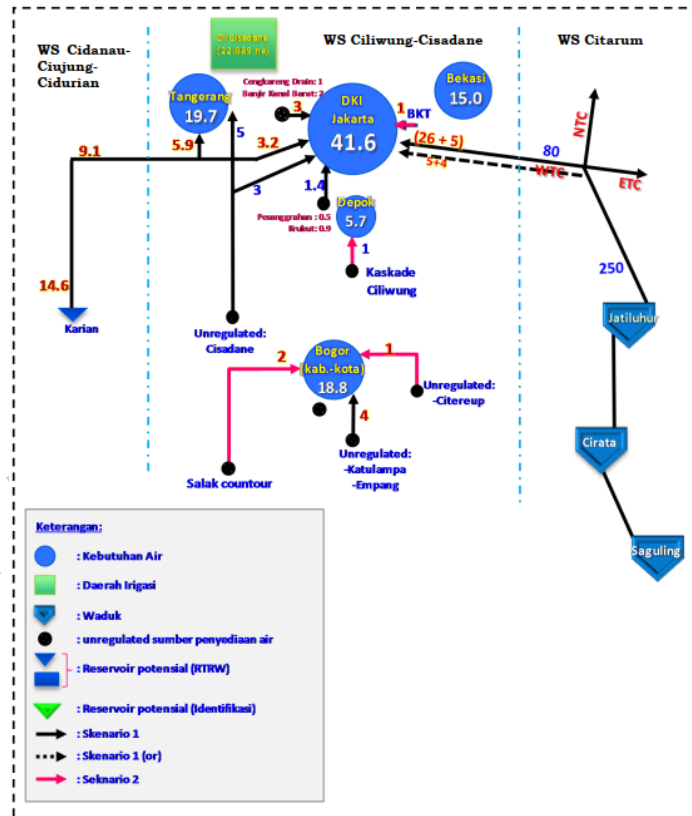
1. Skenario 1 yang merupakan strategi minimum (ditandai dengan garis hitam), skenario pertama ini tidak banyak memiliki intervensi tambahan dan hanya mengandalkan sumber *unregulated* seperti Cisadane dan Citereup. Fokus wilayah pada skenario 1 sama dengan skenario yang lain, yaitu Tangerang, DKI Jakarta, Bogor, dan Bekasi dengan kebutuhan air yang dapat terlihat di dalam lingkarannya.



Gambar 2. 2 Skenario 1 Pemenuhan Kebutuhan Air

Sumber : Hasil Analisis Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane (BBWS Ciliwung-Cisadane)

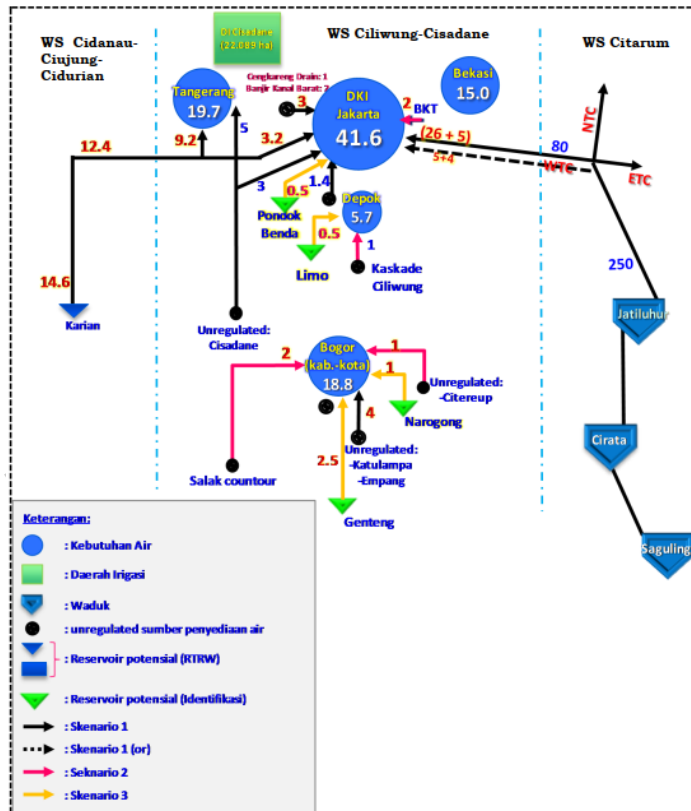
2. Skenario 2 (ditandai dengan garis panah merah) serupa dengan skenario 1, tetapi ditambah dengan penguatan kelembagaan pengelolaan sumber daya air seperti pemanfaatan reservoir potensial yang sudah direncanakan dalam skala terbatas.



Gambar 2. 3 Skenario 2 Pemenuhan Kebutuhan Air

Sumber : Hasil Analisis Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane (BBWS Ciliwung-Cisadane)

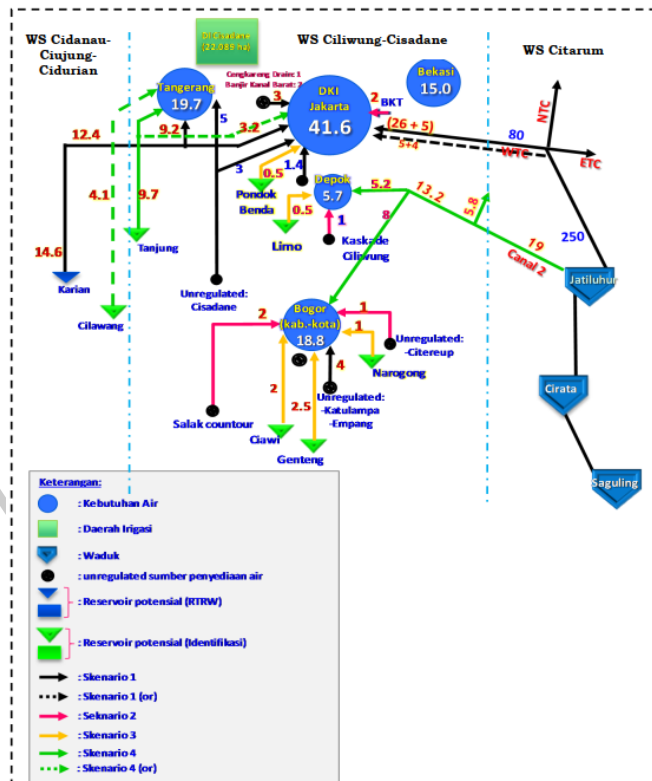
3. Skenario 3 (ditandai dengan garis panah kuning) mengadopsi Langkah-langkah dari skenario 2, ditambah penerapan *Proactive Management* serta perlindungan lahan pertanian dan zonasi sumber daya air. Juga melibatkan reservoir potensial seperti Ciawi dan Genteng untuk memenuhi kebutuhan air di wilayah rentan.



Gambar 2. 4 Skenario 3 Pemenuhan Kebutuhan Air

Sumber : Hasil Analisis Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane (BBWS Ciliwung-Cisadane)

- Skenario 4 (ditandai dengan garis panah hijau) merupakan upaya maksimum untuk meningkatkan semua aspek pengelolaan sumber daya serta melibatkan pendekatan *cost recovery* untuk mendukung keberlanjutan pengeolaan air. Pada skenario terakhir ini, seluruh reservoir potensial dan sumber air dioptimalkan dengan memastikan biaya pengelolaan air dapat dikembalikan.



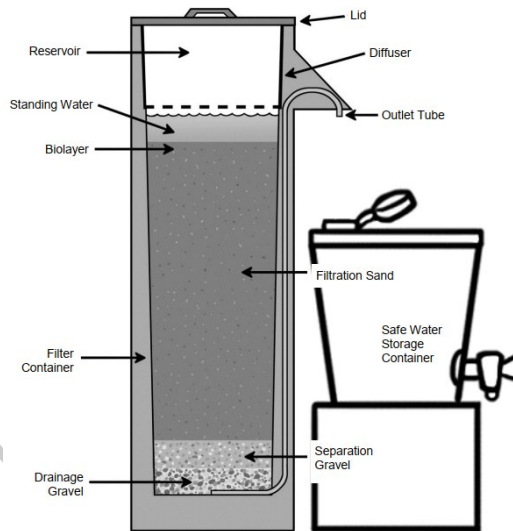
Gambar 2. 5 Skenario 4 Pemenuhan Kebutuhan Air

Sumber : Hasil Analisis Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane (BBWS Ciliwung-Cisadane).

2.5 Biosand Filter (BSF)

BSF adalah modifikasi *slow sand filter* yang aliran airnya terjadi secara putus-putus atau terdapat jeda pada penggunaannya. Salah satu poin pembeda pada BSF adalah proses “*pause period*”, yaitu jeda sementara air di dalam BSF sehingga filter dapat bekerja lebih baik dan menjaga kelembapan *biolayer* agar tetap hidup (Ngai & Baker, 2014). BSF dikembangkan oleh Dr. David Manz pada tahun 1990-an di Universitas Calgary, Kanada. Dr. Manz membentuk *Centre for Affordable Water and Sanitation Technology* (CAWST) dan telah mendistribusikan teknologi BSF ke berbagai negara berkembang (Janjaroen, 2016).

CAWST juga membuat panduan konstruksi BSF secara komprehensif dalam *Biosand Filter Construction Manual*. Gambar 2. 6 merupakan model BSF buatan CAWST. Panduan konstruksi ini diharapkan menjadi acuan dalam pembuatan dan penggunaan BSF di lapangan.



Gambar 2. 6 Gambar *Biosand Filter* (BSF)

Sumber : *Construction Manual CAWST*

Biosand filter (BSF) terdiri dari beberapa bagian yang mempunyai masing-masing fungsi untuk meningkatkan keefesinan kerja alat BSF. Bagian-bagian tersebut (diurut dari bagian paling atas) antara lain adalah :

- Penutup (*Lid*) : berguna untuk menghindari kontaminasi dan menjauhkan hama yang tidak diinginkan.
- Reservoir* : Tempat untuk menuang dan menyimpan air yang belum terfilter sebelum masuk ke proses filtrasi.
- Diffuser* : berfungsi sebagai penahan agar air dari reservoir menetes secara perlahan dan tidak merusak proses penyaringan di bawahnya.
- Standing Water* : ketika air berhenti mengalir, diperlukan setidaknya 5 cm air, yang disebut *standing water*, di atas pasir untuk melindungi bagian atas pasir dan menjaga kelembapan *biolayer*.
- Biolayer* : Tempat para mikroba pemakan pathogen berbahaya tinggal.
- Separation Gravel* : kerikil kecil yang berguna untuk menghentikan pasir agar tidak turun dan menghalangi *outlet tube*.

<i>Drainage Gravel</i>	: berfungsi untuk menahan <i>separation gravel</i> agar tidak bergerak dan menghalangi <i>outlet tube</i> .
<i>Outlet Tube</i>	: Berguna untuk mengaliri air yang sudah terfilter ke penyimpanan air.
<i>Safe Storage</i>	: Penyimpanan akhir air yang diharapkan sudah aman digunakan.

2.6 Simulasi Desain Sungai Dengan SWMM

Beberapa dekade terakhir, model hidrologi DAS berbasis fisik (*physically-based catchment hydrology models*) telah digunakan secara luas untuk memahami perilaku proses permukaan, bawah permukaan, serta mobilitas air dan kontaminannya (Güven & Akdoğan, 2016). *Storm Water Management Model* (SWMM) merupakan salah satu aplikasi pemodelan hidrologi yang digunakan untuk tujuan tersebut (Thakuri & Wijesekera, 2022). Karena kemampuannya dalam memodelkan hidrologi, SWMM dipilih untuk penelitian ini.

Selain pemodelan hidrologi, penelitian ini juga melakukan pemodelan kualitas air menggunakan SWMM. SWMM beroperasi dengan melacak aliran air dan material di antara berbagai kompartemen lingkungan, seperti atmosfer, permukaan tanah, air tanah, dan sistem drainase. Komponen perutean kemudian mengangkut limpasan permukaan dengan memodelkan transportasi limpasan melalui permukaan tanah atau sistem drainase bawah tanah yang terhubung sebagai serangkaian elemen drainase. Dengan menyatukan kompartemen-kompartemen ini, SWMM mampu mensimulasikan kuantitas limpasan dan beban polutan di sepanjang sistem drainase (Greenberg, 2015).

Walaupun SWMM terbilang layak untuk dijadikan sarana pemodelan kualitas air akan tetapi banyak yang perlu diperhatikan seperti pemasukan data berupa curah hujan, berbagai skenario perlu dikaji terlebih dahulu, dan diperlukan pemasangan saluran limpasan yang baik untuk mencegah aliran air yang berlebihan. Solusi yang disarankan meliputi perpanjangan waktu retensi dan memastikan sistem aman dari limpasan berlebihan (Suits, Vassiljev, Annus, & Kändler, 2022). Selain itu menurut (Darji, Lodha, & Tyagi, 2022), untuk pemodelan sungai yang kompleks pemodelan tunggal bisa saja tidak berhasil dan diperlukan pemodelan kombinasi sehingga model sungai dapat dikalibrasi dengan tujuan hasil simulasi yang minimum kesalahan dan maksimal akurasi.

2.7 Analisis Karakteristik Hujan

Pemodelan sungai eksisting pada SWMM memerlukan informasi hujan yang sesuai dengan daerah sungai yang diteliti sehingga simulasi dapat berjalan dengan baik. Analisis-*analisis* yang perlu dilakukan antara lain adalah :

1. Analisis Curah Hujan Rata-rata

Analisis curah hujan dilakukan menggunakan metode poligon Thiessen yang memperhitungkan pengaruh luas area setiap stasiun hujan agar dapat menyesuaikan ketidakseragaman jarak antar stasiun. Area pengaruh ditentukan dengan membuat garis tegak lurus pada bagian tengah garis penghubung antara dua atau lebih stasiun hujan terdekat (Ajr & Dwirani, 2019). Setelah poligon Thiessen dibuat maka curah hujan rata-rata pada area poligon tersebut dapat dihitung menggunakan rumus (Nganro, Trisutomo, Barkey, & Ali, 2020) :

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1+A_2R_2+\dots+A_nR_n}{A_1+A_2+\dots+A_n} \quad (2.1)$$

keterangan :

\bar{R} = Curah hujan rata-rata pada area tertentu.

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan pada setiap stasiun hujan.

A_1, A_2, \dots, A_n = Area pengaruh poligon Thiessen.

2. Analisis Periode Ulang Hujan (PUH)

Periode Ulang Hujan merupakan perhitungan periode ulang curah hujan untuk memperoleh nilai peningkatan curah hujan maksimum dan nilai frekuensi kemunculan curah hujan maksimum di suatu wilayah dalam rentang waktu tertentu (Tahmid, Nugroho, & Indriani, 2020). Penelitian kali ini menggunakan periode ulang hujan secara 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun yang dilakukan dengan membandingkan curah hujan sebenarnya (distribusi Weibull) dan curah hujan rencana. Curah hujan rencana dicari menggunakan analisis distribusi frekuensi menggunakan distribusi Gumbell, Log Pearson III, dan Log Normal karena lebih sesuai dalam kasus hidrologi (Limantara, 2018).

a. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan perhitungan distribusi curah hujan yang digunakan sebagai pembandingan data curah hujan sebenarnya. Perhitungan dilakukan dengan menjumlah data yang dianalisis dari yang terbesar hingga terkecil lalu dicari probabilitasnya dengan rumus (Upomo & Kusmawardani, 2016):

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (2.2)$$

Setelah itu, periode ulang dicari menggunakan persamaan :

$$Tr = \frac{1}{P} \quad (2.3)$$

Dengan :

m = Rangka data dari yang terbesar ke terkecil

n = Banyaknya data

P = Probabilitas

Tr = Periode Ulang

b. Distribusi Gumbell

Distribusi Gumbell atau dikenal dengan distribusi ekstrim, karena digunakan untuk mengestimasi nilai ekstrim seperti curah hujan maksimum yang dihitung menggunakan rumus (Triatmodjo, 2008) :

$$X_T = \bar{x} + k.S_d \quad (2.4)$$

Dengan :

\bar{x} = hujan rata-rata (mm)

Sd = Simpangan baku hujan (mm)

X_T = Periode Ulang Hujan

K = Faktor frekuensi Gumbell

Faktor frekuensi gumbell mempunyai rumus :

$$k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad (2.5)$$

dengan :

Y_t = Nilai reduksi dari periode ulang tertentu

Y_n = Nilai reduksi dari rata-rata

S_n = Nilai reduksi dari simpangan baku

c. Distribusi Log Pearson Tipe III

Distribusi ini sering diterapkan dalam analisis hidrologi, khususnya untuk mengolah data dengan nilai ekstrim. Distribusi Log Pearson merupakan hasil transformasi distribusi Pearson Tipe III dengan mengubah variabel asli menjadi bentuk logaritma. Rumus yang digunakan untuk mencari curah hujan maksimum rencana adalah (Widyawati, Yuniarti, & Goejantoro, 2020) :

$$\text{Log } X_t = \overline{\log x} + (k \cdot S_{(\log x)}) \quad (2.5)$$

Dengan :

X = Periode Ulang Hujan (mm)

\bar{X} = Rata-rata data curah hujan (mm)

S = Standar deviasi data curah hujan

K = Faktor Probabilitas

d. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal adalah jenis distribusi probabilitas yang digunakan untuk memperkirakan data dengan variasi yang besar. Distribusi ini umumnya diterapkan pada data yang memiliki nilai terkecil berupa bilangan positif. Rumus yang digunakan dalam menghitung adalah (Ananta, Limantara, Fidari, & Nurdin, 2024) :

$$\text{Log } X_t = \overline{\log x} + (k \cdot S_{(\log x)}) \quad (2.6)$$

Dengan :

X = Periode Ulang Hujan (mm)

\bar{X} = Rata-rata data curah hujan (mm)

S = Standar deviasi data curah hujan

K = Faktor Probabilitas

Rumus dalam mencari distribusi Log Pearson III dan Log Normal adalah sama. Perbedaan dari kedua distribusi tersebut adalah perolehan angka faktor probabilitas (k). Distribusi Log Pearson mendapatkan nilai k dari nilai kemencengan (CS) sedangkan distribusi Log Normal mendapatkan nilai k dari nilai variabel reduksi Gauss yang dapat dilihat dari Tabel

Tabel 3. 1 Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode Ulang Tahun	Peluang	k
2	0,5	0
5	0,2	0,84
10	0,1	1,28
25	0,045	1,71
50	0,02	2,05
100	0,01	2,33

Sumber : Bonnier, 1980

3. Analisis Intensitas Hujan

Dalam menganalisis intensitas hujan digunakan metode Mononobe karena metode ini dapat menghitung intensitas hujan hanya dari data akumulasi curah hujan harian dengan rumus (Faradiba, 2021) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.7)$$

Dengan :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R_{24} = Curah Hujan Maksimum (mm)

t = Jumlah hujan (jam)

2.8 Analisis Debit Awal (*Initial Flow*)

Debit awal yang digunakan pada simulasi adalah debit puncak pada metode hidrograf satuan sintetis Nakayasu yang dikhususkan untuk analisis debit banjir pada Daerah Aliran Sungai (DAS) tanpa data pengukuran langsung (Hidayat, 2022). Sehingga debit awal pada penelitian dicari menggunakan rumus :

$$Q_p = \frac{A \cdot R_0}{3,6 (0,3 \cdot T_p + T_{0,3})} \quad (2.8)$$

keterangan :

Q_p = Debit puncak banjir (m^3/det)

R_0 = Curah hujan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan hingga puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = Waktu penurunan debit mencapai 30% dari debit puncak

A = Luas DAS (km^2)

2.9 Analisis Polutan

Dalam simulasi kualitas air sungai perlu diketahui bagaimana polutan terbentuk (*Buildup*) dan terbuang (*Washoff*) pada penggunaan lahan. Penelitian menggunakan rumus eksponensial dalam menghitung *buildup* karena sudah sering digunakan untuk mencari akumulasi polutan pada permukaan perkotaan. Pada rumus eksponensial ini, penumpukan polutan mengikuti kurva pertumbuhan eksponensial yang secara asimtosik mendekati batas maksimum. Laju penumpukan polutan dapat dimodelkan sebagai berikut (Wang, Wei, Huang, Wang, & Maqsood, 2011).

$$\frac{dB}{dt} = K_0 - K_2 B \quad (2.9)$$

Kemudian Rumus (2.9) diintegrasikan menjadi :

$$B = K_1(1 - \exp(-K_2T)) + B_0 \exp(-K_2T) \quad (2.10)$$

Dengan mengasumsikan tidak ada polutan sisa setelah kejadian limpasan hujan sebelumnya ($B(0) = 0$), persamaan (2.10) menjadi :

$$B = K_1(1 - \exp(-K_2T)) \quad (2.11)$$

keterangan :

B = Jumlah polutan per satuan luas pada permukaan daerah tangkapan air (mg/m^2)

$K_1 = \frac{K_0}{K_2}$, Jumlah maksimum polutan yang dapat terakumulasi

K_2 = Konstanta Laju Penumpukan

\exp = Basis Logaritma Natural (sekitar 2,718)

Rumus (11) mencerminkan perpaduan antara kemudahan pemakaian dan presisi, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi praktis. Dasarnya berasal dari teori kinetika fundamental yang memiliki dasar matematis yang kuat sehingga fleksibel untuk digunakan berbagai bidang termasuk polusi lingkungan.

Sedangkan untuk simulasi polutan yang terbang (*Washoff*) menggunakan model *Rating Curve* yang menghubungkan beban partikel tersuspensi dengan laju limpasan. Model ini sering digunakan sebagai alternatif dari model yang lebih kompleks (E. Crobeddu & S. Bennis, 2011). Rumus *washoff* pada polutan untuk pemodelan ini dinyatakan dengan :

$$W = C_1 Q^{C_2} \quad (2.12)$$

keterangan :

C_1 = Koefisien *Washoff*

C_2 = *Washoff* eksponen

Q = Laju Limpasan

Penelitian ini menggunakan metode EMC (*Event Mean Concentration*) yang *washoff* eksponennya adalah 1,0 dan koefisien C_1 merepresentasikan konsentrasi *Washoff*: EMC adalah sebuah indeks yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi kandungan limpasan berdasarkan *pollutograph* dan hidrograf. EMC untuk suatu peristiwa hujan tertentu didefinisikan sebagai total beban polutan dibagi dengan total volume limpasan seperti yang terlihat pada rumus (Kim & Furumai, 2016) :

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{t_r} C_t Q_t dt}{\int_0^{t_r} Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (2.13)$$

keterangan :

EMC = *Event Mean Concentration* (mg/L atau count/m^3)

M	= Total massa polutan atau jumlah mikroorganismen (g atau <i>count</i>)
V	= Total Volume Aliran (m ³)
t_r	= durasi kejadian hujan (menit)
T	= waktu (menit)
C_t	= Konsentrasi yang bervariasi terhadap waktu (mg/L atau <i>count</i> /m ³)
Q_t	= Debit aliran yang bervariasi terhadap waktu (m ³ /menit)
Δt	= interval waktu diskrit (menit)

Selain *buildup* dan *washoff* penelitian ini juga menggunakan konsep *treatment* yang disediakan oleh SWMM. *Treatment* digunakan untuk mensimulasikan bagaimana pengaruh dari filter BSF yang digunakan pada simulasi yang sudah dijalankan. Menurut (von Sperling, Verbyla, & Oliviera, 2020), *removal efficiency* merupakan konsep yang mengukur pengurangan konsentrasi polutan yang masuk dan yang keluar dalam suatu sistem pengolahan. *Removal efficiency* dapat dinyatakan dengan :

$$E = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} = 1 - \frac{C_{out}}{C_{in}} \quad (2.14)$$

Sehingga untuk mengetahui berapa banyak konsentrasi polutan yang keluar saat setelah melewati sistem pengolahan, rumus dapat dijadikan sebagai berikut :

$$C_{out} = C_{in} \times (1 - E) \quad (2.15)$$

Dengan :

C_{out}	= Konsentrasi polutan yang keluar (mg/ <i>count</i>)
C_{in}	= Konsentrasi polutan yang masuk (mg/ <i>count</i>)
E	= Faktor pengurangan polutan (%)

2.10 Gap Literatur

1. *Bio-Sand Filter (BSF): A Simple Water Treatment Device for Safe Drinking Water Supply and to Promote Health in Hazard Prone Hard-to-Reach Coastal Areas of Bangladesh*
 - a. Peneliti
A.H.M. Enamul. (2016)
 - b. Lokasi
Bangladesh
 - c. Ringkasan
Kajian menguji keefektifan BSF dalam memasok air bersih yang aman di *daerah pesisir* yang sulit dijangkau di Bangladesh
 - d. Metodologi
BSF dengan wadah plastik dengan *kerikil berdiameter 12 (tinggi 3 cm) dan 6 (tinggi 3 cm) dan pasir <1 mm (tinggi 30 cm) serta klorinasi dengan*

bubuk pemutih kelas komersial untuk mengurangi konsentrasi mikrobiologi.

e. Parameter

Parameter yang digunakan adalah **Turbidity, Fecal Coliform, dan Total Coliform.**

f. Hasil Penelitian

BSF menghilangkan **turbidity (>99%)** dan **kontaminasi mikrobiologi (pengurangan 1.5 hingga 1.6-log)**. Penambahan klorin membuat kualitas air memenuhi standar WHO.

2. Pengolahan Air Limbah Domestik menggunakan Biosand Filter

a. Peneliti

Rhenny dan Sakhbanul. (2020)

b. Lokasi

Surabaya

c. Ringkasan

Penelitian bertujuan untuk menganalisis efisiensi BSF menggunakan variasi komposisi dan ketinggian median serta membandingkan variasi komposisi dan ketinggian media yang paling efektif untuk BSF.

d. Metodologi

BSF dibuat dengan reaktor kaca dengan ketebalan 0,8 cm. reaktor dilengkapi dengan bak penampung air berupa bak plastik, pipa PVC dan sambungannya, pengatur debit, diffuser plate, dan keran.

e. Parameter

Parameter yang digunakan adalah **BOD, TSS, pH, dan suhu.**

f. Hasil Penelitian

Efisiensi untuk penurunan BOD dan TSS pada reaktor 1 dengan susunan media kerikil, pasir kasar, pasir halus, dan terakhir karbon akhir (10,10,30,10) cm adalah 62,92% dan 78,40% secara berturut-turut. Sedangkan untuk **reaktor 2 dengan susunan media yang sama tapi dengan tinggi yang berbeda yaitu 10,10,15,25 cm secara berturut-turut mempunyai nilai efisiensi penurunan BOD sebesar 67,01% dan TSS sebesar 81,99%**. Sehingga susunan media yang lebih efektif adalah reaktor 2.

3. *The Modified Biosand Filters for Water Treatment*

a. Peneliti

Sahana. (2022)

b. Lokasi

India

c. Ringkasan

Eksperimen dilaksanakan untuk menganalisis performa BSF modifikasi dengan BSF rumahan dalam penambahan kualitas air dalam berbagai kondisi pengerjaannya.

d. Metodologi

Modifikasi BSF yang diteliti adalah BSF dengan **kerikil berlapis iron oxide (10 cm) dengan tiga lapis underdrain.**

e. Parameter

Parameter yang digunakan adalah *conductivity, Turbidity, kekerasan air, mangan, , dan escheria coli.*

f. Hasil Penelitian

Efisiensi BSF biasa adalah 83,3-81,8% untuk turbidity, 55,6%-50,2% untuk kekerasan air, 40,4%-55,67% untuk kandungan mangan, 95%-98% untuk Escheria coli CFU/mL, dan 80%-75% untuk faecal coliform. Sedangkan untuk MBSF atau BSF modifikasi adalah 60,6%-70,2% untuk turbidity, 40,2%-50,2% untuk kekerasan air, 40,5%-30,3% untuk kandungan mangan, 98,3%-99,2% untuk Escheria coli CFU/mL, dan 85,3%-80,1% untuk faecal coliform.

4. *Biosand Filter As A Point-of-Use Water Treatment Technology: Influence of Turbidity on Microorganism Removal Efficiency*

a. Peneliti

Duran Romero. (2020)

b. Lokasi

Brazil

c. Ringkasan

Kajian bertujuan untuk mengukur keefisienan BSF dalam menghilangkan kandungan mikroorganisme air sumur dan air yang terkontaminasi air limbah yang diolah dengan kekeruhan yang bervariasi

d. Metodologi

Empat filter (BSF1 adalah air sumur, BSF2 air dengan kekeruhan 3 NTU, BSF3 dengan kekeruhan 25 NTU, dan BSF4 yang memiliki turbidity tertinggi) yang digunakan pada eksperimen ini yang didesain berdasarkan CAWST. Filter-filter mempunyai wadah yang berbahan akrilik dengan ketebalan 10 cm, berdiameter 300 mm, dan memiliki Panjang 990 mm. wadah ini ditutup dengan plastik *polyethylene* dengan berat jenis yang rendah untuk menghindari adanya penumbuhan algal pada dindingnya.

e. Parameter

Parameter yang digunakan adalah *turbidity, pH, Alkalinitas, penyerapan UV₂₅₄, Nitrat, Total Coliform, E. coli.*

f. Hasil Penelitian

Penghilangan kekeruhan bervariasi pada angka 88% sampai 90%. Sedangkan untuk pengurangan total coliform dan escheria coli berada pada angka 0,54-2,01 dan 1,2-2,2 log removal values (LRV), secara berurutan. Di samping tingkat keefektifan BSF yang tinggi, filter ini masih mengandung beberapa mikroorganisme, dan penambahan disinfektan pada alat BSF diperlukan untuk menambah keamanan air.

5. *Performance Evaluation of Bio-sand Filter In Removing Contaminants From Surface Water*

a. Peneliti

T.K. Das. (2014)

b. Lokasi

Bangladesh

c. Ringkasan

Kajian mengevaluasi kinerja Bio-sand filter (BSF) yang dibuat dengan bahan lokal dalam menghilangkan *kontaminan dari air permukaan*.

d. Metodologi

Konstruksi BSF dibuat menggunakan ember plastik, pasir, dan kerikil yang diperoleh dari sumber lokal. Ember-ember ini dihubungkan secara vertikal dengan pipa plastik dan menggunakan katup bola untuk mengontrol aliran. Pasir dan kerikil dipilih dengan ukuran tertentu, dicuci, dan dikeringkan sebelum digunakan. Serta BSF dioperasikan dengan aliran 50 ml/menit selama 43 hari. Selama periode ini, 50 sampel air diambil setiap hari untuk dianalisis.

e. Parameter

Parameter yang digunakan adalah *Turbidity, TDS, EC, Fecal Coliform, dan Total Coliform*.

f. Hasil Penelitian

BSF sangat efisien dalam mengurangi turbidity, dengan rata-rata pengurangan mencapai 74,87%.

6. MS2 Bacteriophage Reduction and Microbial Communities in Biosand Filters

a. Peneliti

Hanting. (2014)

b. Lokasi

Amerika

c. Ringkasan

Kajian mengevaluasi peran dari karakteristik filter fisik dan biologi pada pengurangan *MS2 Bacteriophage* pada BSF.

d. Metodologi

Tiga BSF beton versi 10 yang masing-masing memiliki *kedalaman media sedalam 55 cm dan volume pengisian 12 Liter*.

e. Parameter

Parameter yang digunakan adalah *MS2 Bacteriophage*

f. Hasil Penelitian

Pengurangan MS2 sebanyak 4 log₁₀ (99.99%) setelah 43 hari operasi dan pengurangan sebesar 4 log₁₀ – 7 log₁₀ (99.99% - 99.99999%) untuk operasi selama 240 hari.

Berdasarkan daftar-daftar gap literatur, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berupaya untuk **menambah kualitas air sungai** menggunakan **alat BSF** dengan mengurangi **polutan-polutan** yang umum muncul pada permukaan sungai.