

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Pengolahan Air

Untuk mengetahui seberapa besar tingkat kemungkinan penerapan BSF sebagai opsi pengolahan kualitas air, sistem pengolahan air menggunakan *Biosand Filter* (BSF) perlu disesuaikan dengan kondisi eksisting wilayah kajian dan jenis polutan yang ada. Data yang digunakan untuk mendukung pemodelan meliputi analisis model pengolahan air untuk menurunkan polutan, bentuk dan kondisi penampang sungai, kualitas awal air sungai, serta hasil pengujian air sebelum dan sesudah penerapan BSF.

4.1.1 Model Pengolahan Air

Model pengolahan air dirancang untuk menentukan konfigurasi BSF yang sesuai dalam meningkatkan kualitas air sungai. Alat BSF diuji selama 15 hari dengan pengecekan kadar polutan setiap interval 5 hari. Alat ini memiliki kapasitas 2,7 liter dengan waktu filtrasi rata-rata 120 detik. Struktur BSF menggunakan pipa PVC berdiameter 4 inci setinggi 113 cm, dengan susunan lapisan paling bawah menuju paling atas sebagai berikut:

- Kerikil (diameter 2mm) : 0,93 Liter
- Pasir Kasar (diameter 1 mm) : 0,93 Liter
- Pasir Halus (diameter 0,5 mm) : 1,38 Liter
- Karbon Aktif Granular : 2,27 Liter

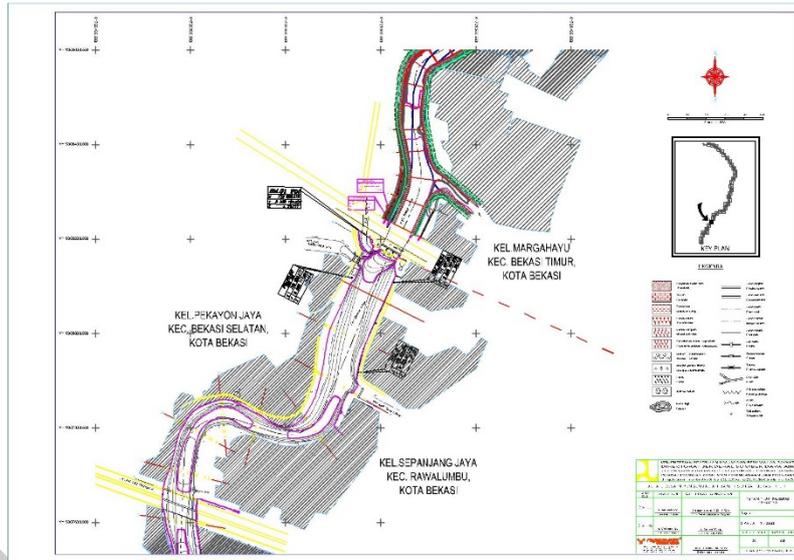
Lapisan karbon aktif dilengkapi ruang oksigen sebesar 891,35 cm³ (panjang 11 cm) untuk mendukung pertumbuhan biofilm. Struktur ini dirancang untuk mengoptimalkan pengurangan polutan air. Model pengolah air dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Model Pengolahan Air Penelitian

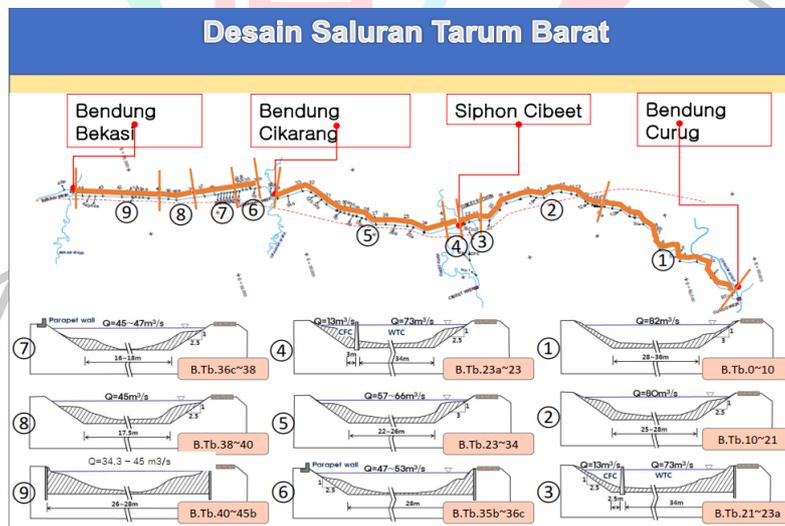
4.1.2 Kondisi Penampang Sungai

Penampang sungai pada wilayah kajian perlu diketahui untuk mengamati perilaku aliran air dan distribusi polutan secara akurat. Penampang sungai kemudian diperoleh melalui BBWS Ciliwung Cisadane untuk Sungai Bekasi dan BBWS Citarum untuk sungai Tarum Barat. BBWS Ciliwung Cisadane membagi Sungai menjadi dua bagian, yaitu hulu bendung yang diberikan kode “B” dan hilir bendung dengan kode “P”. Data penampang sungai yang dibutuhkan penelitian adalah B.0, B.1, B.3, P.2, P.7, P.9, P.15, dan P.20. Gambar 4. 2 memperlihatkan bagian sungai Bekasi yang menjadi wilayah kajian penelitian ini.



Gambar 4. 2 Long Section Kali Bekasi
 Sumber : BBWS Ciliwung Cisadane

Sedangkan bagian Saluran Tarum Barat yang digunakan pada penelitian ini adalah B.Tb.44 ~ B.Tb.45 untuk saluran yang mengalir sebelum Bendung Bekasi dan saluran STA. 55+200 ~ STA. 58+700 untuk saluran yang mengarah Cawang seperti yang terlihat pada Gambar 4. 3 dan Gambar 4. 4.



Gambar 4. 3 Desain Saluran Tarum Barat Dari Bendung Curug hingga Bendung Bekasi
 Sumber : BBWS Citarum

Gambar 4.3 berisi informasi geometri wilayah kajian penelitian untuk saluran 2 (Sungai Irigasi Tarum Barat bagian STA 0+000-STA 1 +750), yaitu poin 9 dengan kode B.Tb.40 ~ B.Tb.45b.

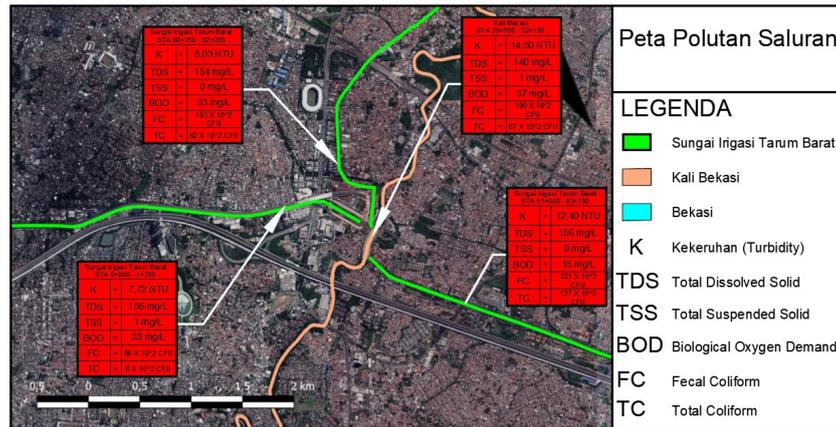


Gambar 4. 4 Potongan Kanal untuk Bekasi-Cawang (STA. 55+200 ~ STA. 58+700)
 Sumber : BBWS Citarum

Gambar 4. 4 memberikan data yang diberikan oleh BBWS Citarum untuk wilayah kajian saluran 3 (Sungai Irigasi Tarum Barat STA 51+000-STA 53 +750) yang berada di posisi setelah Bekasi Silt Trap dan menelusuri konstruksi Tol Becakayu. Saluran 1 pada wilayah kajian dicari dengan menyesuaikan data pada Gambar 4. 3 dan Gambar 4. 4 dikarenakan kurangnya data penampang pada BBWS Citarum. Data-data penampang sungai di atas juga digunakan untuk memodelkan sungai wilayah kajian pada SWMM untuk komponen *Conduit*.

4.1.3 Kondisi Awal Kualitas Sungai

Data kondisi awal kualitas sungai dilakukan untuk menentukan tingkat pencemaran sebelum penerapan BSF dilakukan. Saluran pada kajian mempunyai detail saluran : Sungai Irigasi Tarum Barat bagian STA 60+750-STA 62 +250, Sungai Irigasi Tarum Barat bagian STA 0+000-STA 1 +750, Sungai Irigasi Tarum Barat STA 51+000-STA 53 +750, dan Kali Bekasi STA 20 +500-STA 22 +150 yang diuji pada UPTD LABKESDA Kota Bekasi dengan hasil laboratorium yang dapat dilihat pada Gambar 4. 5.



Gambar 4.5 Kondisi Awal Kualitas Sungai Wilayah Kajian
Sumber : Pengolahan Data Peneliti

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa setiap titik pengambilan sampel memiliki kadar polutan yang berbeda-beda, yang kemudian dibandingkan dengan standar baku mutu air. Standar baku mutu untuk parameter polutan yang dianalisis adalah: kekeruhan sebesar 3 NTU, TDS sebesar 1000 mg/L, TSS sebesar 40 mg/L, BOD sebesar 2 mg/L, *Fecal Coliform* sebesar 100 CFU, dan Total Coliform sebesar 1000 CFU. Rincian kadar polutan di setiap titik pengambilan sampel adalah sebagai berikut:

1. Sungai Irigasi Tarum Barat bagian STA 60+750-STA 62 +250, Kondisi awal polutan pada saluran ini adalah 8,03 NTU untuk kekeruhan, 154 MG/L untuk TDS, 0 MG/L untuk TSS, 33 MG/L untuk BOD, 19300 CFU *Fecal Coliform*, dan 6200 CFU untuk *Total Coliform*. Berdasarkan kelima polutan tersebut dapat diketahui bahwa terdapat 4 polutan yang melebihi standar air baku dan perlu diawasi pada penelitian ini, yaitu polutan Kekeruhan, BOD, *Fecal Coliform*, dan *Total Coliform*.
2. Sungai Irigasi Tarum Barat bagian STA 0+000-STA 1 +750, Untuk saluran ini kondisi awal polutannya adalah 7,72 NTU untuk kekeruhan, 156 MG/L untuk TDS, 1 MG/L untuk TSS, 33 MG/L untuk BOD, 9600 CFU *Fecal Coliform*, dan 600 CFU untuk *Total Coliform*. kondisi awal saluran ini memiliki polutan yang melebihi standar yang sama seperti saluran 1, yaitu polutan Kekeruhan, BOD, *Fecal Coliform*, dan *Total Coliform*.
3. Sungai Irigasi Tarum Barat STA 51+000-STA 53 +750,

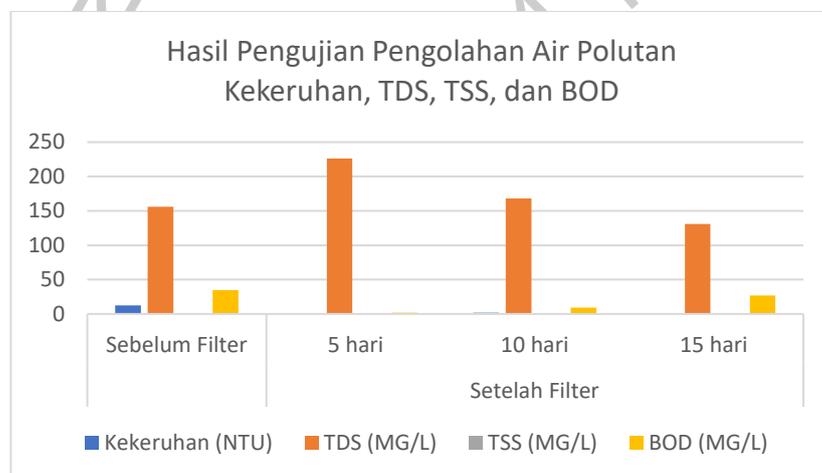
Saluran ketiga memiliki kondisi awal polutan, yaitu ,12,4 NTU untuk kekeruhan, 156 MG/L untuk TDS, 0 MG/L untuk TSS, 35 MG/L untuk BOD, 321000 CFU *Fecal Coliform*, dan 127000 CFU untuk *Total Coliform*. Polutan yang melebihi standar pada saluran ini juga merupakan polutan yang sama seperti dua saluran sebelumnya tapi dengan *Fecal Coliform* dan *Total Coliform* yang cukup lebih banyak dibandingkan pada saluran lainnya.

4. Kali Bekasi STA 20 +500-STA 22 +150,

Saluran keempat adalah satu-satunya saluran Kali Bekasi pada wilayah kajian dengan kondisi polutan sebagai berikut : 14,5 NTU untuk kekeruhan, 140 MG/L untuk TDS, 1 MG/L untuk TSS, 37 MG/L untuk BOD, 19000 CFU *Fecal Coliform*, dan 6700 CFU untuk *Total Coliform*. Polutan yang melewati standar juga sama seperti polutan pada Sungai Tarum Barat, yaitu polutan Kekeruhan, BOD, *Fecal Coliform*, dan *Total Coliform*.

4.1.4 Hasil Pengujian Pengolahan Air

Hasil uji polutan di atas kemudian dibandingkan dengan hasil polutan setelah difilter menggunakan alat BSF dengan uji coba air filter selama 5, 10, dan 15 hari pada Saluran 3 yang menjadi lokasi lokasi yang dipilih pada penelitian seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 untuk hasil pengujian polutan kekeruhan, TDS (*Total Dissolved Solids*), TSS (*Total Suspended Solids*), dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) serta Gambar 4.7 untuk hasil pengujian polutan *Fecal Coliform* dan *Total Coliform*.



Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Pengolahan Air Polutan Kekeruhan, TDS, TSS, dan BOD
Sumber : Pengolahan Data Peneliti

Gambar 4.6 menunjukkan perbedaan tingkat polutan Kekeruhan, TDS, TSS, dan BOD sebelum dan setelah melalui filter pada interval 5, 10, dan 15 hari. Penjelasan mengenai perbedaan hasil dan alasan di balik fenomena tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kekeruhan

Polutan kekeruhan sebelum dan sesudah filter menunjukkan penurunan yang signifikan. Kekeruhan awal sebelum filter adalah 12,4 NTU, yang kemudian turun menjadi 0,73 NTU pada hari ke-5, 1,93 NTU pada hari ke-10, dan 0,4 NTU pada hari ke-15. Namun, pada hari ke-10, kekeruhan mengalami peningkatan, yang menunjukkan adanya gangguan atau perubahan pada biofilm, seperti pelepasan mikroorganisme atau material lain dari biofilm yang sudah menua ke dalam air yang terfilter. Peningkatan kekeruhan ini kemungkinan disebabkan oleh bertambahnya partikel tersuspensi. Namun, masalah ini hilang pada hari ke-15, dengan angka kekeruhan yang lebih rendah dari hari ke-5, yang menunjukkan bahwa biofilm telah berfungsi dengan lebih baik.

2. TDS (*Total Dissolved Solids*)

Kadar TDS pada sampel air menunjukkan peningkatan pada hari ke-5 dan ke-10 setelah penggunaan filter, lalu mengalami penurunan pada hari ke-15. Nilai TDS yang awalnya 156 mg/L meningkat menjadi 226 mg/L pada hari ke-5, 168 mg/L pada hari ke-10, dan 131 mg/L pada hari ke-15. Fluktuasi ini mengindikasikan bahwa padatan yang digunakan sebagai material filter, seperti kerikil dan pasir, sempat terbawa bersama air yang diuji pada hari ke-5 dan ke-10. Namun, pada hari ke-15, material filter tampaknya telah mengendap dan menjadi lebih stabil, sehingga tidak lagi terbawa keluar.

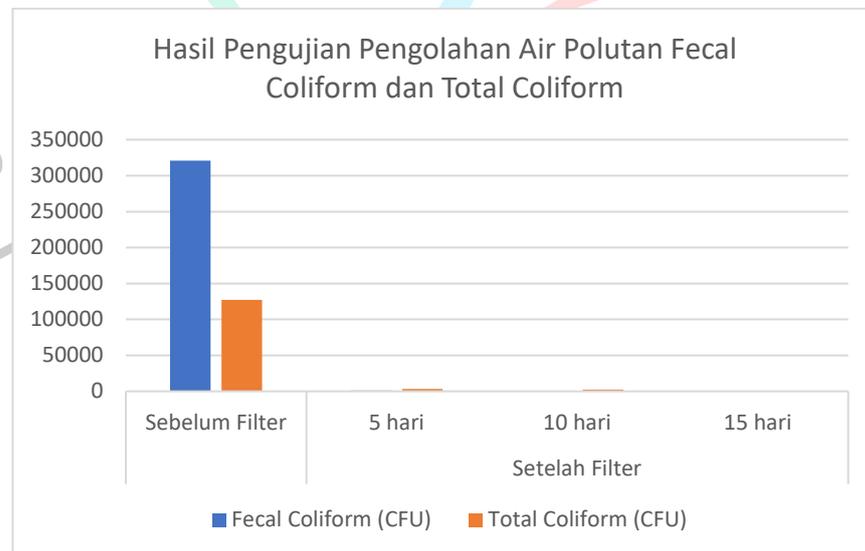
3. TSS (*Total Suspended Solids*)

Pada pengujian laboratorium, polutan TSS tidak terdeteksi pada sampel air baik sebelum maupun setelah proses penyaringan. Hal ini

menunjukkan bahwa sampel air baku yang digunakan tidak mengandung polutan TSS yang signifikan.

4. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Polutan BOD yang terdeteksi pada pengujian laboratorium menunjukkan penurunan dibandingkan kondisi sebelum filter, namun hasil pengujian menunjukkan peningkatan nilai hari ke harinya. Nilai BOD yang terdeteksi adalah 35 MG/L untuk sebelum filter, 2 MG/L setelah filter hari ke-5, 9 MG/L untuk hari ke-10, dan 27 MG/L pada hari ke-15. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kebutuhan oksigen untuk proses dekomposisi biologis semakin meningkat seiring waktu, yang menandakan bahwa biofilm dalam filter semakin berkembang dari hari ke-5 hingga hari ke-15. Perkembangan biofilm ini berperan dalam meningkatkan BOD yang terdeteksi. Fenomena ini juga sejalan dengan hasil pengujian mikrobiologi (*Fecal Coliform* dan *Total Coliform*) yang mengalami penurunan signifikan dibandingkan kondisi sebelum filter, karena biofilm yang terbentuk berperan aktif dalam menurunkan mikroorganisme tersebut selama proses pengolahan air.



Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Pengolahan Air Polutan *Fecal Coliform* dan *Total Coliform*
Sumber : Pengolahan Data Peneliti

Gambar 4. 7 memberikan gambaran tentang polutan mikrobiologi, yaitu *Fecal Coliform* dan *Total Coliform* dengan besaran yang berbeda untuk

sebelum dan setelah filter (5, 10, dan 15 hari). Perbedaan dan alasan hasilnya dijelaskan sebagai berikut :

1. *Fecal Coliform*

Polutan mikrobiologi yang terdeteksi pada awal pengujian terpantau turun drastis. Hal ini ditandai dengan nilai *Fecal Coliform* yang berawal dari 321000 CFU sebelum filter dan menurun menjadi 900 CFU pada pengujian filter hari ke-5, 200 CFU pada hari ke-10, dan 4 CFU pada hari ke-15. Nilai polutan yang turun drastis ini mengindikasikan biofilm yang bekerja cepat dalam mengurangi polutan-polutan mikrobiologi pada kualitas air.

2. *Total Coliform*

Identik dengan polutan mikrobiologi *Fecal Coliform*, *Total Coliform* juga memiliki nilai yang cukup turun drastis jika dibandingkan awal pengujian sebelum filter yang memiliki nilai 127000 CFU. Nilai polutan mikrobiologi ini turun hingga 3400 CFU pada hari pengujian ke-5, 2300 CFU pada hari ke-10, dan 103 CFU pada hari ke-15. Fenomena ini terjadi dikarenakan alasan yang sama pada pengurangan drastis nilai *Fecal Coliform*, yaitu biofilm pengolahan air yang bekerja secara efektif.

Hasil pengujian pengolahan air perlu dibandingkan antara sebelum dan sesudah penerapan BSF sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh model pengolahan air terhadap kondisi awal kualitas sungai. Selain itu, data pengurangan polutan (%) juga dapat dijadikan faktor E pada rumus (2.15) untuk pemodelan *treatment* pada SWMM. Pengurangan polutan yang digunakan adalah pengurangan yang terjadi pada hari ke-15 yang merupakan hari pengujian paling akhir dengan 94,11% untuk pengurangan kekeruhan, 16,03% untuk TDS, 22,86% untuk BOD, dan 99,999% untuk *Fecal Coliform*.

4.1.5 Analisis Sistem Pengolahan Air

Pengujian Hasil uji laboratorium yang membandingkan antara sebelum filter dan setelah filter memberitahukan beberapa hal, antara lain adalah :

1. BSF efektif berdasarkan kriteria STORET, dengan skor menurun dari -27 (Cemar Sedang) menjadi -6 (Cemar Ringan).
2. Pada hari ke-15, BSF berhasil menurunkan kekeruhan (94,11%), TDS (16,03%), BOD (22,86%), dan *Fecal Coliform* (99,999%).
3. Debit keluaran air sebesar 81 liter/jam mencukupi kebutuhan rumah tangga.
4. Terdapat kemungkinan terbentuknya biofilm yang cepat pada pengolahan air. Fenomena ini mengindikasikan banyaknya nutrisi seperti protein dan karbohidrat yang mengalir pada sungai, terutama pada kawasan peternakan dan agrikultur yang memiliki limbah berupa kotoran hewan dan pupuk organik.
5. Pengolahan air mulai aman digunakan pada hari ke-10 dengan tambahan proses disinfeksi untuk menurunkan nilai BOD yang naik secara tePenggunaan hari ke-10 ini juga untuk menjamin biofilm pada pengolahan air agar terbentuk secara sempurna.
6. Berdasarkan hasil analisis dan pengujian, penerapan Biosand Filter (BSF) sebagai opsi pengolahan kualitas air sungai memiliki potensi besar untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Efektivitas BSF terlihat dari penurunan skor STORET, yang berubah dari kategori "Cemar Sedang" (-27) menjadi "Cemar Ringan" (-6). Pada pengujian hari ke-15, alat BSF terbukti mampu mengurangi polutan secara signifikan, termasuk kekeruhan sebesar 94,11%, TDS sebesar 16,03%, BOD sebesar 22,86%, dan *Fecal Coliform* sebesar 99,999%. Debit air hasil filtrasi sebesar 81 liter/jam menunjukkan bahwa alat ini cukup memenuhi kebutuhan sanitasi rumah tangga. Selain itu, pembentukan biofilm yang terjadi pada alat meningkatkan efisiensi pengolahan air, meskipun diperlukan tambahan proses disinfeksi untuk memastikan air layak digunakan. Dengan penyesuaian ini, BSF dapat diandalkan sebagai solusi pengolahan air sungai untuk kebutuhan sehari-hari, terutama pada area dengan tingkat pencemaran yang tinggi.

4.2 Simulasi Komputer Sebaran Polutan Pada Kawasan Kajian

Penelitian ini menggunakan SWMM untuk memodelkan sebaran polutan di wilayah kajian. Tujuan simulasi adalah memahami pola penyebaran polutan berdasarkan data eksisting yang dimasukkan ke dalam model. Data yang diolah dan hasil simulasi dari SWMM digunakan untuk menentukan skenario penyebaran polutan, sehingga dapat menilai kesesuaian model BSF dengan kondisi wilayah kajian.

4.2.1 Pengolahan Data Hujan Hidrologi

SWMM digunakan untuk mensimulasikan aliran *runoff* yang mengandung polutan berdasarkan data pada Gambar 4.1, dengan mempertimbangkan intensitas hujan dan debit awal (*initial flow*). Oleh karena itu, kedua data tersebut perlu diolah terlebih dahulu. Intensitas hujan dihitung menggunakan data curah hujan selama 10 tahun (2008-2017) yang diperoleh dari situs resmi BMKG dan BBWS Ciliwung-Cisadane. Data ini dikumpulkan dari empat stasiun hujan, yaitu Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Priok, Stasiun Klimatologi Tangerang Selatan, Stasiun Hujan Cawang, dan Stasiun Hujan Kampus UI. Tabel 4.1 menunjukkan nilai curah hujan maksimum yang tercatat pada masing-masing stasiun hujan untuk setiap tahun.

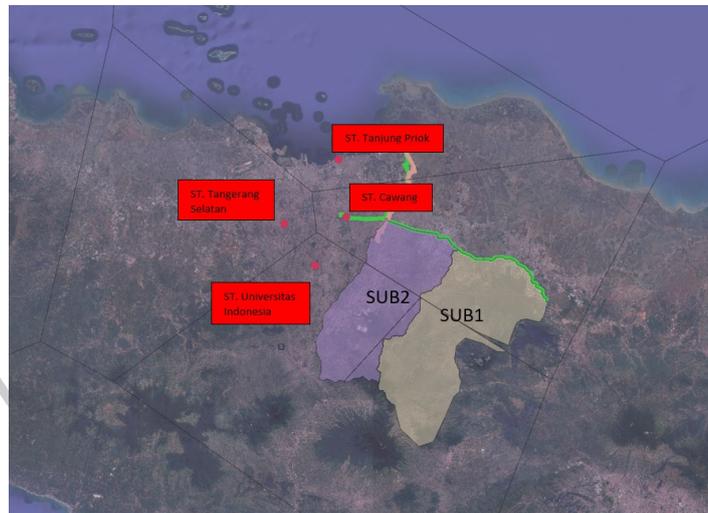
Tabel 4.1 Curah Hujan Maksimum 10 tahun (2008-2017) Pada Empat Stasiun Hujan

Tahun	ST. Maritim Tanjung Priok (mm)	ST. Tangerang Selatan (mm)	ST. Cawang (mm)	ST. Kampus UI (mm)
2008	87,9	209	143	152
2009	148,9	114	99	137
2010	88,3	108,9	121	109
2011	78,5	61,9	55	117,4
2012	75,1	85,82	103	128,2
2013	117,8	96	149	101,7
2014	284	119,5	138	151,5
2015	247	125,54	130	97,2
2016	112,7	212,49	146	141,5
2017	148,6	110,45	330	105,7

Sumber : BBWS Ciliwung-Cisadane dan BMKG (2024)

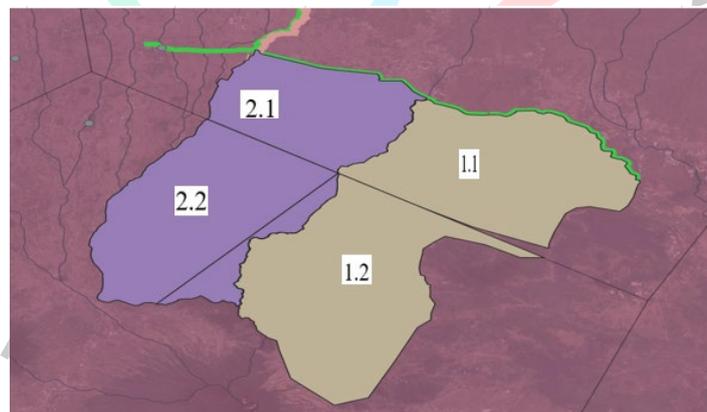
Data curah hujan kemudian diolah menggunakan metode Poligon Thiessen untuk menentukan rata-rata curah hujan pada area pengaruh.

Hasil pemetaan luasan Poligon Thiessen yang dilakukan melalui QGIS dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Letak Area Pengaruh Poligon Thiessen dan Stasiun Hujan

Seperti yang terlihat pada gambar di atas penelitian membagi wilayah penelitian menjadi dua area pengaruh, yaitu SUB1 dan SUB2. Kedua area pengaruh kemudian dibagi lagi menjadi empat bagian sesuai lokasi stasiun hujan yang mempengaruhi masing-masing area, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Pembagian Area Pengaruh

Area pengaruh SUB1 terdiri dari dua sub-bagian: sub-bagian 1.1 yang dipengaruhi oleh curah hujan dari Stasiun Cawang dan sub-bagian 1.2 yang dipengaruhi oleh curah hujan dari Stasiun Universitas Indonesia. Demikian pula, SUB2 terdiri dari sub-bagian 2.1 (curah hujan dari Stasiun Cawang) dan sub-bagian 2.2 (curah hujan dari Stasiun Universitas Indonesia). Luasan pengaruh setiap area, yang dihitung menggunakan

QGIS, serta stasiun hujan yang relevan dalam perhitungan curah hujan rata-rata terlihat pada Tabel 4. 2.

Tabel 4. 2 Luas Area Pengaruh dan Stasiun Hujan Yang Mempengaruhi Curah Hujan Area Pengaruh

Nomor Area Pengaruh	Area Pengaruh	Luas Area Pengaruh (m ²)	Stasiun Hujan
SUB 1	1.1	471208283	ST. Cawang
	1.2	582348015	ST. Universitas Indonesia
SUB 2	2.1	300122285	ST. Cawang
	2.2	524256071	ST. Universitas Indonesia

Setelah luasan Poligon Thiessen masing-masing subbagian didapatkan maka curah hujan rata-rata dapat diperoleh menggunakan rumus (2.1) dengan periode ulang yang diperoleh menggunakan distribusi Weibull sesuai rumus (2.3) seperti yang tertera pada Tabel 4.3 untuk area pengaruh SUB1 dan Tabel 4. 4 untuk area pengaruh SUB2.

Tabel 4. 3 Curah Hujan Rata-rata dan Periode Ulang Hujan Area Pengaruh Sub 1

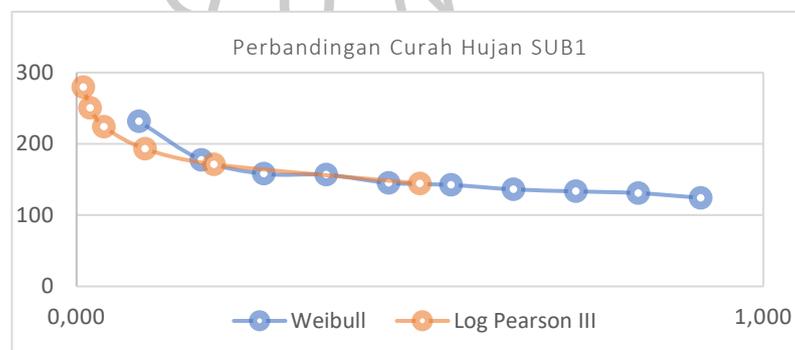
Rank	Curah Hujan Rata-rata	Probabilitas	PUH
1	231,6113834	0,091	11
2	177,6644153	0,182	5,5
3	158,0307274	0,273	3,667
4	156,633688	0,364	2,75
5	145,3016672	0,455	2,2
6	142,3670596	0,545	1,833
7	136,1611383	0,636	1,57
8	133,3822364	0,727	1,375
9	130,9248635	0,818	1,22
10	124,2640989	0,909	1,1

Tabel 4. 4 Curah Hujan Rata-rata dan Periode Ulang Hujan Area Pengaruh Sub 2

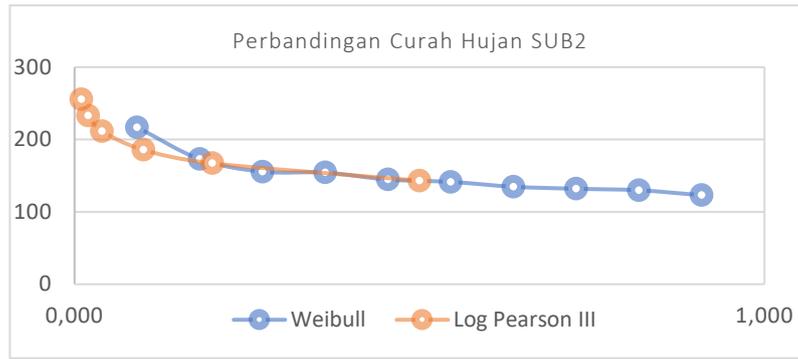
Rank	Curah Hujan Rata-rata	Probabilitas	PUH
1	216,8024858	0,091	11
2	172,7974462	0,182	5,5
3	155,4766085	0,273	3,667
4	154,3208377	0,364	2,75
5	144,5945007	0,455	2,2
6	141,3687069	0,545	1,833
7	134,6802486	0,636	1,57
8	131,934625	0,727	1,375
9	129,859954	0,818	1,22
10	123,0244777	0,909	1,1

Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menyajikan nilai curah hujan rata-rata untuk setiap periode ulang hujan di area pengaruh SUB1 dan SUB2. Data di atas kemudian digunakan untuk menghitung intensitas hujan dengan cara membandingkan curah hujan rata-rata dengan curah hujan rencana yang diperoleh melalui analisis distribusi Gumbell, Log Pearson Tipe III, dan Log Normal.

Curah hujan rencana dicari melalui tiga analisis distribusi, yaitu analisis distribusi Gumbell, Log Pearson Tipe III, dan Log Normal. Dari ketiga analisis distribusi dibuat grafik curah hujannya dan dibandingkan dengan grafik curah hujan rata-rata metode Weibull. Pada penelitian ini dipilih analisis distribusi Log Pearson III sebagai curah hujan rencana karena grafik curah hujannya lebih mirip ke grafik metode Weibull dari dua analisis distribusi lainnya. Perbandingan grafik kedua curah hujan ini dapat dilihat pada Gambar 4. 10 untuk grafik perbandingan curah hujan SUB1 dan Gambar 4. 11 untuk grafik perbandingan curah hujan SUB2.



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Curah Hujan SUB1

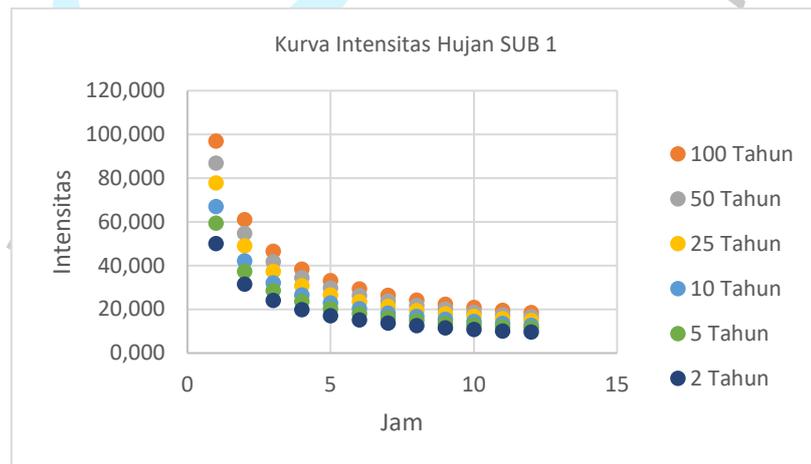


Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Curah Hujan SUB2

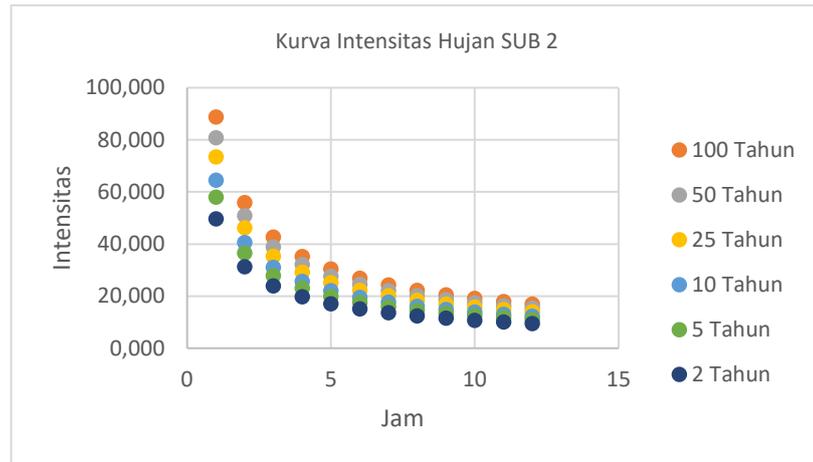
Gambar 4. 10 dan Gambar 4. 11 merupakan grafik antara curah hujan rata-rata (metode Weibull) dan curah hujan rencana (Metode Log Pearson III) untuk area pengaruh SUB1 dan SUB2. Kedua grafik tersebut memplotkan besaran curah hujan kedua metode analisis distribusi (sumbu vertikal) dengan probabilitasnya (sumbu horizontal).

4.2.1.1. Intensitas Hujan

Intensitas hujan diperoleh menggunakan rumus (2.7). menggunakan curah hujan maksimum rencana pada metode Log Pearson III. Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 menunjukkan kurva intensitas hujan yang diplot berdasarkan area pengaruh SUB1 dan SUB2.



Gambar 4. 12 Kurva Intensitas Hujan Sub 1



Gambar 4. 13 Kurva Intensitas Hujan Sub 1

Gambar 4. 12 dan Gambar 4. 13 merupakan kurva intensitas hujan masing-masing area pengaruh yang diplot besarnya dengan jam untuk masing-masing Periode Ulang Hujan yang didesain. Data intensitas hujan di atas kemudian diinput ke SWMM untuk dijadikan data *Rain Gage* untuk mendukung kelancaran simulasi sebaran polutan penelitian.

4.2.1.2. Debit Awal (*Initial Flow*)

Debit awal pada simulasi SWMM dihitung menggunakan debit puncak dari area hulu kedua sungai untuk mensimulasikan aliran air yang mengalir dari bagian atas sungai menuju wilayah penelitian. Perhitungan debit awal dilakukan berdasarkan curah hujan dengan periode ulang 2, 5, dan 10 tahun menggunakan rumus (2.8). Pemilihan curah hujan dengan tipe tersebut didasarkan pada asumsi bahwa debit yang mengalir dari hulu ke wilayah penelitian melewati sistem drainase utama.

Dari rumus (8) dengan variasi curah hujan 2, 5, dan 10 tahun maka debit awal untuk sungai Tarum Barat adalah 238,858 m³/detik untuk curah hujan 2 tahun, 356,365 m³/detik untuk curah hujan 5 tahun, dan 620,789 m³/detik untuk curah hujan 10 tahun. Sedangkan untuk Kali Bekasi debit awalnya adalah 235,248 m³/detik untuk curah hujan 2 tahun, 341,676 m³/detik untuk curah hujan 5 tahun, dan 623,725 untuk curah hujan 10 tahun. Seluruh

data debit awal di atas digunakan saat penginputan SWMM di bagian *Initial Flow* pada komponen *Conduit*.

4.2.2 Pengolahan Data Polutan

Dalam mensimulasikan kualitas air suatu saluran pada SWMM maka diperlukan dua komponen, yaitu *Buildup* dan *Washoff*. Dua komponen ini berfungsi untuk mensimulasikan proses akumulasi polutan di permukaan secara realistis sebelum polutan tersebut dihanyutkan oleh limpasan. *Buildup* memerlukan data maksimum *Buildup* dan *rate constant*. Maksimum *Buildup* dan *rate constant* polutan BOD, TDS, dan TSS didapatkan dari (Mohammed, Zwain, & Hassan, 2021) dan *Fecal Coliform* (Mecklenburg County Water Quality Program (MCWQP), 2005) dan (Guo, bin Hj Metali, Shams, & HM Sultan, 2019). Data-data yang dibutuhkan untuk simulasi *Buildup* dapat dilihat pada Tabel 4. 5 dan Tabel 4. 6.

Tabel 4. 5 Data Buildup Untuk Masing-masing Polutan

Jenis Polutan	Maksimum <i>Buildup</i> (kg)	<i>Rate constant</i> (hari ⁻¹)
BOD	190	0,11
TDS	500	0,87
TSS	245	0,8
<i>Fecal Coliform</i>	Tabel 4. 10	0,63

Tabel 4. 5 menjelaskan tentang jumlah polutan maksimum yang dapat terakumulasi pada *Subcatchment* (Maksimum *Buildup*) dan kecepatan penumpukan polutan hingga mencapai maksimum *Buildup*. Pada tabel diketahui bahwa polutan BOD memiliki jumlah polutan maksimum sebanyak 190 kg dengan kecepatan penumpukan 0,11 hari⁻¹, polutan TDS dengan polutan maksimum sebanyak 500 kg dengan kecepatan penumpukan 0,87 hari⁻¹, polutan TSS mempunyai jumlah polutan maksimum sebanyak 245 kg dengan kecepatan penumpukan 0,8 hari⁻¹. Sedangkan untuk *Fecal Coliform* mempunyai maksimum *Buildup* yang dijelaskan pada Tabel 4. 6 dengan kecepatan penumpukan 0,63 hari⁻¹.

Tabel 4. 6 Data Maksimum Buildup *Fecal Coliform* Berdasarkan Saluran dan Tipe Lahannya

Saluran Ke-	Tipe Penggunaan Lahan	Maksimum <i>Buildup</i> (CFU)
Saluran 1	<i>Institutional Pervious</i>	486300000
Saluran 2	<i>Commercial Pervious</i>	958800000
Saluran 3	<i>Residential Pervious</i>	2313530000
Saluran 4	<i>Residential Pervious</i>	2585870000

Maksimum *Buildup* untuk polutan *Fecal Coliform* berbeda dari polutan lainnya. Seperti yang terlihat pada Tabel 4. 6 maksimum *Buildup* polutan ini mempunyai jumlah berdasarkan tipe penggunaan lahan tiap salurannya :

1. Saluran satu dengan tipe penggunaan lahan '*Institutional Pervious*' atau 'Institusional Permeabel (permukaan yang memungkinkan air meresap ke dalam tanah)' memiliki jumlah polutan maksimal 486.300.000 CFU.
2. Saluran dua dengan tipe penggunaan lahan '*Commercial Pervious*' atau 'Komersial Permeabel' memiliki jumlah polutan maksimal 958.800.000 CFU.
3. Saluran tiga dengan tipe penggunaan lahan '*Residential Pervious*' atau 'Perumahan Permeabel' memiliki jumlah polutan maksimal 2.313.530.000 CFU.
4. Saluran empat dengan tipe penggunaan lahan '*Residential Pervious*' atau 'Perumahan Permeabel' memiliki jumlah polutan maksimal 2.585.870.000 CFU.

Sedangkan untuk komponen *Washoff*, data yang diperlukan adalah koefisien EMC yang dihitung menggunakan rumus (2.13).

Tabel 4. 7 Koefisien EMC Untuk Masing-Masing Saluran

Polutan	Saluran 1	Saluran 2	Saluran 3	Saluran 4
BOD (mg/l)	0,738	0,748	0,748	0,671
TDS (mg/l)	0	0,0048	0	0,0048
TSS (mg/l)	0,158	0,158	0,167	0,177
<i>Fecal Coliform</i> (CFU)	92,514	46,017	1538,71	91,076

Tabel 4. 7 merupakan data koefisien EMC yang digunakan pada simulasi untuk setiap polutan pada masing-masing saluran dengan hasil sebagai berikut :

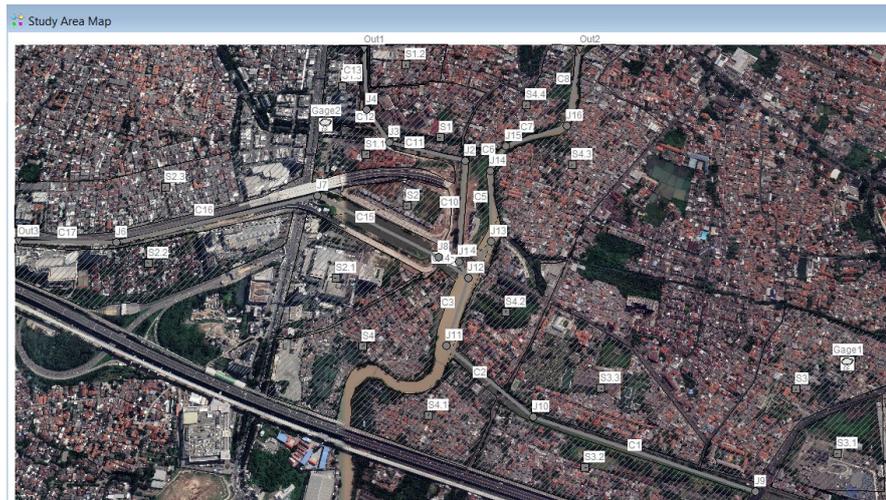
1. Saluran satu memiliki koefisien EMC sebesar 0,738 MG/L untuk polutan BOD, 0 MG/L pada polutan TDS, 0,158 MG/L untuk polutan TSS, dan 92,514 CFU pada polutan *Fecal Coliform*.
2. Saluran dua memiliki koefisien EMC sebesar 0,748 MG/L untuk polutan BOD, 0,0048 MG/L pada polutan TDS, 0,158 MG/L untuk polutan TSS, dan 46,017 CFU pada polutan *Fecal Coliform*.
3. Saluran tiga memiliki koefisien EMC sebesar 0,748 MG/L untuk polutan BOD, 0 MG/L pada polutan TDS, 0,167 MG/L untuk polutan TSS, dan 1538,71 CFU pada polutan *Fecal Coliform*.
4. Saluran empat memiliki koefisien EMC sebesar 0,671 MG/L untuk polutan BOD, 0,0048 MG/L pada polutan TDS, 0,177 MG/L untuk polutan TSS, dan 91,076 CFU pada polutan *Fecal Coliform*.

4.2.3 Simulasi Sebaran Kualitas Air

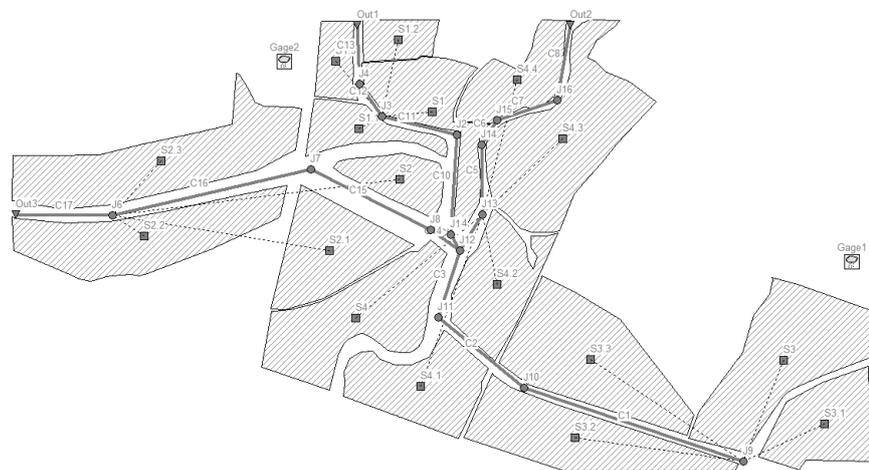
Setelah data intensitas hujan dan debit awal (*Initial Flow*) diinput ke dalam SWMM, simulasi sebaran air yang mengandung polutan dapat dijalankan. Penelitian ini menggunakan pengaturan model SWMM yang dirancang khusus untuk setiap komponen, sehingga kondisi eksisting sungai, khususnya kondisi polutan, dapat dimodelkan secara akurat.

4.2.3.1. Pengaturan Model Simulasi SWMM

Seluruh data yang dikumpulkan kemudian diolah pada simulasi SWMM untuk mengetahui tingkah laku dari polutan yang terdeteksi pada saluran yang diteliti. Gambar 4. 14 dan Gambar 4. 15 memberikan model skematik keseluruhan penelitian.



Gambar 4. 14 Model Skematik Penelitian Skripsi (Dengan Map)



Gambar 4. 15 Model Skematik Penelitian Skripsi (Tanpa Map)

Kedua gambar di atas memberikan gambaran tentang seluruh wilayah kajian yang dimodelkan pada SWMM. Komponen utama yang digunakan pada pemodelan simulasi SWMM mempunyai anotasi-anotasi dengan detail sebagai berikut :

1. Gage (*Rain Gage*)

Komponen *Rain Gage* berfungsi untuk menjadi wadah intensitas hujan yang diinput ke dalam SWMM. Penelitian mempunyai dua *Rain Gage* dengan anotasi Gage1 dan Gage2 untuk merepresentasikan intensitas hujan pada area pengaruh SUB1 dan SUB2.

Property	Value
Name	Gage1
X-Coordinate	11262.403
Y-Coordinate	4745.562
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	1:00
Snow Catch Facto	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	TS1(puh50thn)

Gambar 4. 16 Input Data Intensitas Hujan PUH 50 Tahun Pada Gage1

Gambar 4. 16 merupakan contoh penginputan data intensitas hujan pada Gage1 dengan kode 'TS1(puh50thn)', yang berarti *Rain Gage* menyimpan intensitas hujan SUB1 pada periode ulang hujan 50 tahun. Besaran intensitas hujan yang disimpan kemudian disimulasikan oleh SWMM dengan dialirkan ke *Subcatchment*.

2. S (*Subcatchment*)

Komponen *Subcatchment* adalah area yang menangkap air hujan yang diproduksi oleh *Rain Gage* dan mengalirkannya hingga menjadi limpasan permukaan ke saluran. Penelitian menggunakan 17 *Subcatchment* dengan anotasi S1-S17.

Property	Value	Land Use	% of Area
Area	0.0254	BangunanBOD&FC1	59.57
Width	0.01897	TamanTDS&TSS1	40.43
% Slope	0.372		

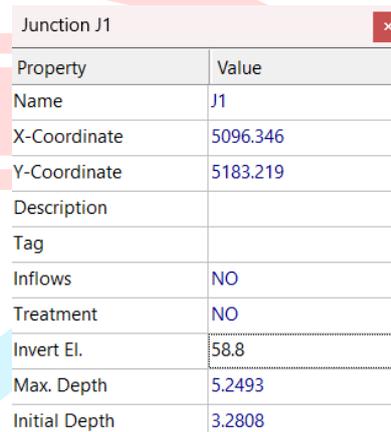
Gambar 4. 17 Input Data Luas Area, Kemiringan, dan Pembagian *Land Use* Lahan *Subcatchment* 1

Gambar 4. 17 memberitahukan contoh penginputan data ke dalam komponen *Subcatchment* dengan anotasi S1. Data yang diinput berupa data luas area (*Area*) seluas 0,0254 hektar, lebar jalur aliran pada *Subcatchment* (*Width*) sepanjang 0,01897 ft. Selain itu diinput juga penggunaan lahan atau *Land Use Subcatchment* yang dibagi menjadi

dua, yaitu ‘BangunanBOD&FC1’ yang berarti penggunaan lahan berupa bangunan yang menampung polutan BOD dan *Fecal Coliform* sebanyak 59,57% luas area dari total area *Subcatchment* dan ‘TamanTDS&TSS1’ dengan arti penggunaan lahan berupa taman yang mempunyai polutan TDS dan TSS sebanyak 40,43% dari total area *Subcatchment*.

3. J (*Junction*)

Junction adalah komponen pada SWMM berupa titik pertemuan atau penghubung jaringan saluran. Selain itu komponen ini adalah komponen yang bertugas untuk mengalirkan air yang diterima oleh *Subcatchment* ke dalam saluran. *Subcatchment* yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 15 *Junction* dengan anotasi J1-J15.



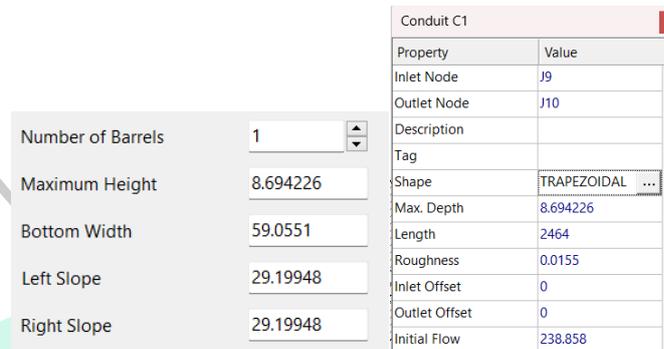
Property	Value
Name	J1
X-Coordinate	5096.346
Y-Coordinate	5183.219
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	58.8
Max. Depth	5.2493
Initial Depth	3.2808

Gambar 4. 18 Input Data Elevasi, Kedalaman Maksimal Air, dan Kedalaman Awal Air saluran pada *Junction* J1

Gambar 4. 18 merupakan contoh penginputan data pada komponen *Junction* J1 berupa data elevasi saluran dengan datum permukaan laut (*Invert El.*) setinggi 58,8 ft, kedalaman maksimal air pada saluran (*Max Depth*) sedalam 5,2493 ft, dan kedalaman awal air saluran (*Initial Depth*) sedalam 3,2808 ft. Data-data ini digunakan oleh SWMM untuk mensimulasikan naik turunnya saluran pada wilayah kajian.

4. C (*Conduit*)

Conduit merupakan komponen SWMM yang merepresentasikan saluran wilayah kajian. Komponen ini juga yang mengalirkan air dari *Junction* ke *Junction* lainnya. Komponen *Conduit* berjumlah 17 *Conduit* dengan anotasi C1-C17.



Property	Value
Inlet Node	J9
Outlet Node	J10
Description	
Tag	
Shape	TRAPEZOIDAL ...
Max. Depth	8.694226
Length	2464
Roughness	0.0155
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	238.858

Gambar 4. 19 Input Data Penampang Sungai dan Debit Awal Pada *Conduit* C1
 Seluruh data penampang yang diperoleh dari BBWS Ciliwung-Cisadane dan BBWS Citarum diinput ke komponen *Conduit* seperti kemiringan sungai bagian kiri (*Left Slope*) dan kanan (*Right Slope*) sepanjang 29,19948 ft, lebar penampang sungai bawah (*Bottom Width*) selebar 59,0551 ft, dan ketinggian total saluran (*Maximum Height*) setinggi 8,694226 ft. Data-data penampang sungai diinput sesuai kebutuhan SWMM untuk membuat bentuk saluran ‘TRAPEZOIDAL’ atau trapesium. Koefisien kekasaran Manning (*Roughness*) yang digunakan adalah 0,0155 sesuai dengan bahan saluran, yaitu beton. Selain itu, diinput juga data debit awal (*Initial Flow*) sebesar 238,858 m³/detik, yang dapat diketahui sebagai debit awal untuk curah hujan 2 tahun sungai Tarum Barat.

5. Out (*Outfall*)

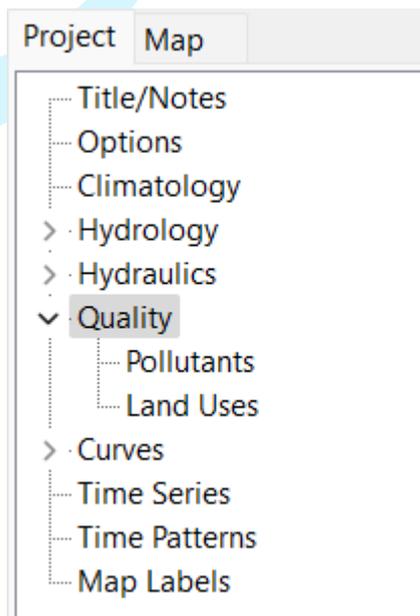
Outfall pada SWMM berfungsi untuk mengakhiri saluran pada ujung wilayah yang disimulasikan. Jumlah *Outfall* yang digunakan pada penelitian sesuai dengan jumlah ujung saluran wilayah kajian dengan anotasi Out1, Out2, dan Out3.

Property	Value
Name	Out1
X-Coordinate	3667.278
Y-Coordinate	8420.060
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	55.7743
Tide Gate	NO
Route To	
Type	FREE

Gambar 4. 20 Input Data Out1

Gambar 4. 20 merupakan contoh penginputan data pada *Outfall* nomor satu. Data yang diinput adalah elevasi titik *Outfall (Invert. El)* dengan tipe 'FREE' yang menyatakan bahwa simulasi berhenti pada titik saluran ini.

Komponen-komponen utama di atas merupakan komponen yang dibutuhkan untuk mensimulasikan hidrologi dan hidrolika wilayah kajian. Pada penelitian ini perilaku polutan merupakan hal yang krusial sehingga selain komponen di atas, perlu untuk menginput data ke dalam komponen *Quality*.



Gambar 4. 21 Komponen *Quality* SWMM pada *Work Tree*

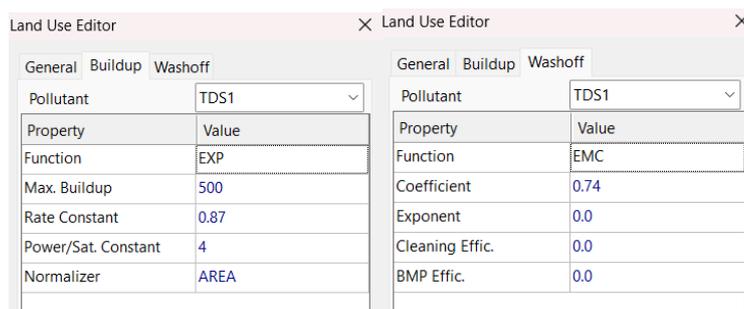
Gambar 4. 21 menjelaskan bahwa SWMM memberikan dua sub-komponen, yaitu *Pollutants* dan *Land Uses*. Sub-komponen *Pollutants* digunakan pada penelitian ini untuk menginput data hasil uji laboratorium sebagai data *Init. Concen.* atau jumlah polutan pada awal simulasi berjalan seperti yang terlihat pada Gambar 4. 22.

Pollutant Editor		Pollutant Editor	
Property	Value	Property	Value
Name	TDS1	Name	FecalColiform1
Units	MG/L	Units	#/L
Rain Concen.	0.0	Rain Concen.	0
GW Concen.	0.0	GW Concen.	0
I&I Concen.	0.0	I&I Concen.	0
DWF Concen.	0.0	DWF Concen.	0
Init. Concen.	154	Init. Concen.	19300
Decay Coeff.	0.0	Decay Coeff.	0
Snow Only	NO	Snow Only	NO
Co-Pollutant	*	Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0	Co-Fraction	0.0

Gambar 4. 22 Input Data *Init. Concen.* TDS dan *Fecal Coliform* Untuk Saluran Satu Sumber : SWMM 5.2

Gambar di atas memperlihatkan contoh penginputan data TDS Dan *Fecal Coliform* dengan satuan MG/L dan #/L (# merupakan satuan yang menyesuaikan dengan tipe polutan seperti bakteri *Fecal Coliform*). Data *Init. Concen.* merupakan data kondisi awal wilayah kajian. Oleh karena itu, 'TDS1' bermakna polutan TDS pada saluran satu sebanyak 154 MG/L dan 'FecalColiform1' yang berarti polutan *Fecal Coliform* pada saluran satu sebanyak 19300 CFU.

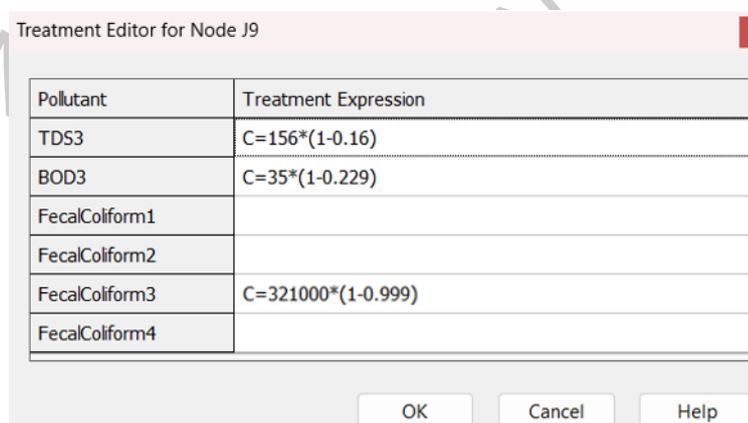
Sub-komponen kedua adalah *Land Uses* yang merupakan wadah untuk penginputan data *Buildup* dan *Washoff* untuk penggunaan lahan tertentu seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. 23 Input Data *Buildup* dan *Washoff* Untuk Polutan TDS dan *Fecal Coliform* Pada Saluran Satu

Gambar 4. 23 merupakan contoh penginputan sub-komponen *Land Uses* untuk polutan TDS pada saluran satu yang dapat diketahui bahwa maksimum *Buildup* (*Max. Buildup*)-nya sebesar 500 MG/L dengan laju penumpukan polutan (*Rate Constant*) sebesar 0,87 hari⁻¹ seperti yang tertera pada Tabel 4. 5, *Buildup* kemudian disimulasikan menggunakan rumus (2.11). Sedangkan untuk *Washoff* polutan TDS pada saluran satu disimulasikan menggunakan rumus eksponensial (2.12) dengan koefisien EMC sebesar 0,74 MG/L sesuai dengan Tabel 4. 7.

Komponen-komponen di atas merupakan komponen SWMM yang digunakan pada penelitian ini untuk memodelkan kondisi eksisting wilayah kajian sebelum penerapan BSF. Pengaturan model untuk pemodelan SWMM setelah penerapan BSF menggunakan komponen *Treatment* seperti yang tertera pada Gambar 4. 24.



Gambar 4. 24 Input Data Treatment pada Node J9 (node pengambilan sampel sebelum dan sesudah filter)

Sumber : SWMM 5.2

Gambar 4. 24 menunjukkan konfigurasi akhir model penelitian yang digunakan untuk mengetahui dampak penerapan BSF pada wilayah kajian melalui simulasi SWMM. Berdasarkan gambar di atas, pengaturan *Treatment* SWMM diinput menggunakan rumus (2.15) *Removal Efficiency*. Tiga polutan yang dimasukkan dalam pengaturan ini adalah polutan pada saluran tiga. Hal ini disebabkan sampel pada titik tersebut digunakan sebagai pembanding antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan filter. Data-data yang dimasukkan pada komponen *Treatment* antara lain adalah:

1. TDS3 dengan rumus ' $C=156*(1-0,16)$ '

Angka 156 MG/L adalah besaran polutan TDS di saluran tiga sebelum BSF diterapkan dan angka 0,16 atau 16% merupakan faktor pengurangan polutan pada hari ke-15 penggunaan BSF. Sedangkan huruf C melambangkan bahwa rumus digunakan untuk mengurangi *Initial Coefficient* yang sebelumnya dimasukkan pada sub-komponen *Pollutants*.

2. BOD3 dengan rumus ' $C=35*(1-0,229)$ '

Angka 35 MG/L adalah besaran polutan BOD di saluran tiga sebelum BSF diterapkan dan angka 0,229 atau 22,9% merupakan faktor pengurangan polutan pada hari ke-15 penggunaan BSF.

3. FecalColiform3 dengan rumus ' $C=321000*(1-0,999)$ '

Angka 321000 CFU adalah besaran polutan *Fecal Coliform* di saluran tiga sebelum BSF diterapkan dan angka 0,999 atau 99,9% merupakan faktor pengurangan polutan pada hari ke-15 penggunaan BSF.

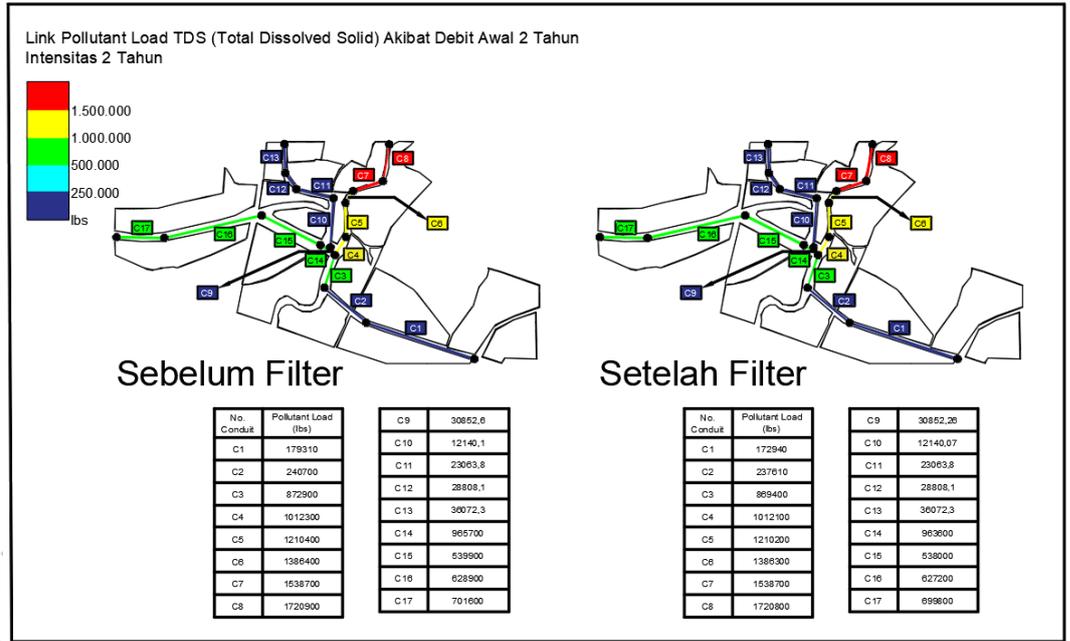
Polutan TSS tidak diinput pada komponen *Treatment* dikarenakan polutan TSS tidak naik maupun turun ketika dibandingkan antara sebelum dan sesudah penerapan BSF.

4.2.3.2. Hasil Simulasi SWMM

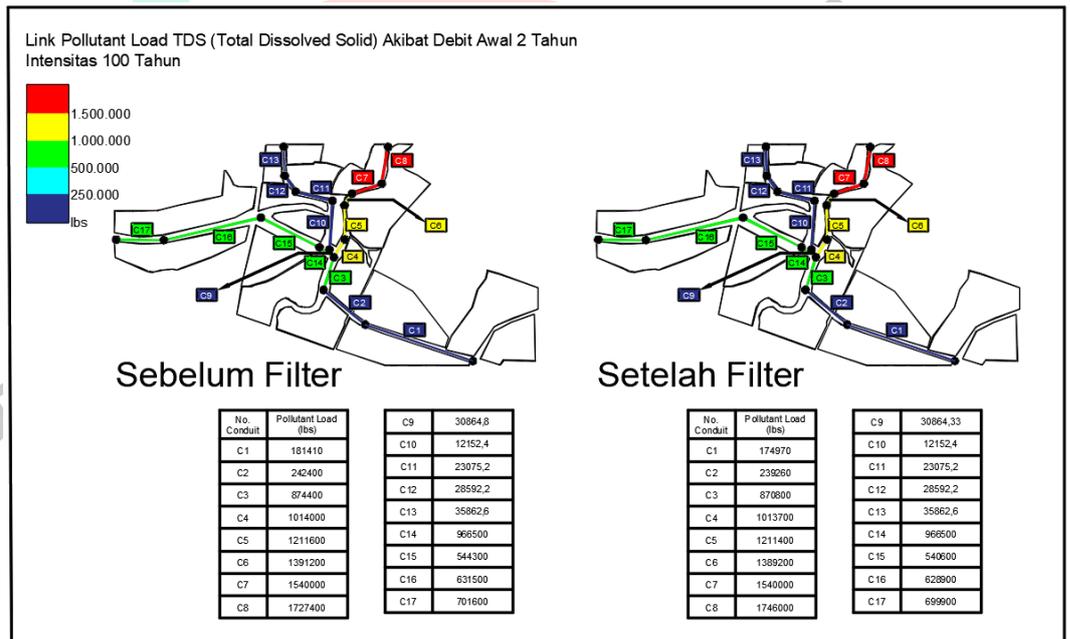
Data yang telah diinput sebelumnya diolah oleh SWMM untuk mengetahui sebaran polutan yang diteliti. Hasil simulasi SWMM berupa *Link Pollutant Load*, yang menunjukkan jumlah polutan tertentu yang melewati komponen *Conduit* simulasi. Simulasi dilakukan dalam tiga kategori debit awal, yaitu yang diakibatkan oleh curah hujan 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun. Setiap kategori ini kemudian disimulasikan berdasarkan intensitas hujan yang telah diperoleh. Dari hasil simulasi, diketahui bahwa perubahan intensitas hujan tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap *Link Pollutant Load*. Oleh karena itu, hasil simulasi yang ditampilkan adalah perbandingan antara simulasi dengan intensitas hujan 2 tahun (intensitas hujan terkecil) dan intensitas hujan 100 tahun (intensitas hujan terbesar). Berikut merupakan perbandingan hasil *Link Pollutant Load* untuk semua parameter polutan antara sebelum dan sesudah filter berdasarkan debit awal yang berbeda :

1. *Link Pollutant Load* Dengan Debit Awal 2 Tahun.

Hasil *Link Pollutant Load* pertama adalah hasil simulasi untuk debit awal yang diakibatkan curah hujan 2 tahun, yaitu sebesar 238,858 m³/detik untuk sungai Tarum Barat dan 235,248 m³/detik. Gambar 4. 25 merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load* TDS untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 26 adalah hasil simulasi *Link Pollutant Load* TDS untuk intensitas hujan 100 tahun.



Gambar 4. 25 Link Pollutant Load TDS Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 2 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

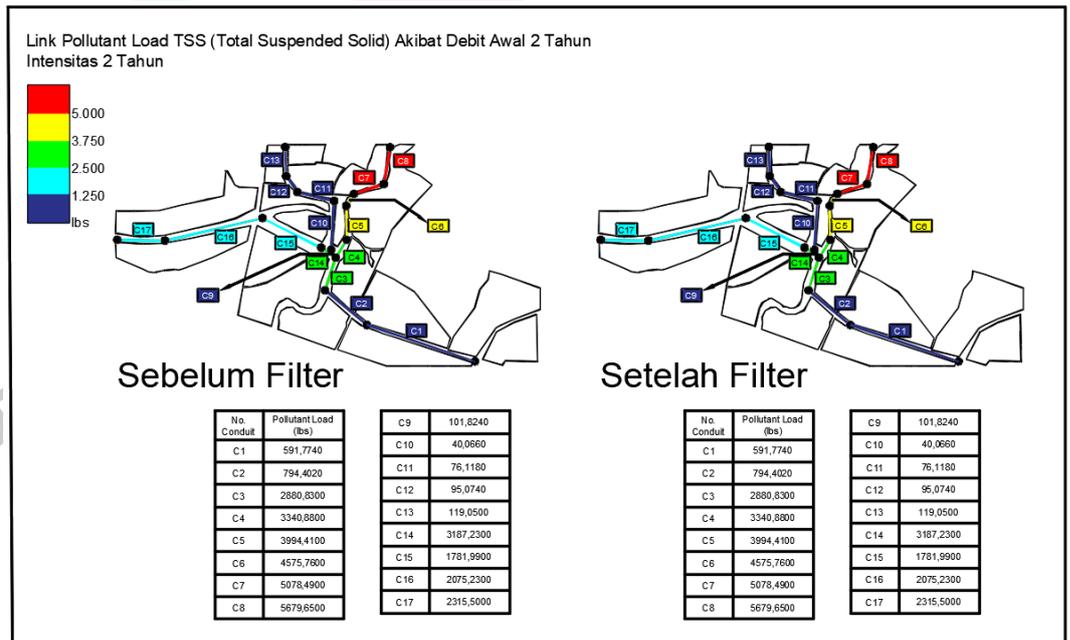


Gambar 4. 26 Link Pollutant Load TDS Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 2 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

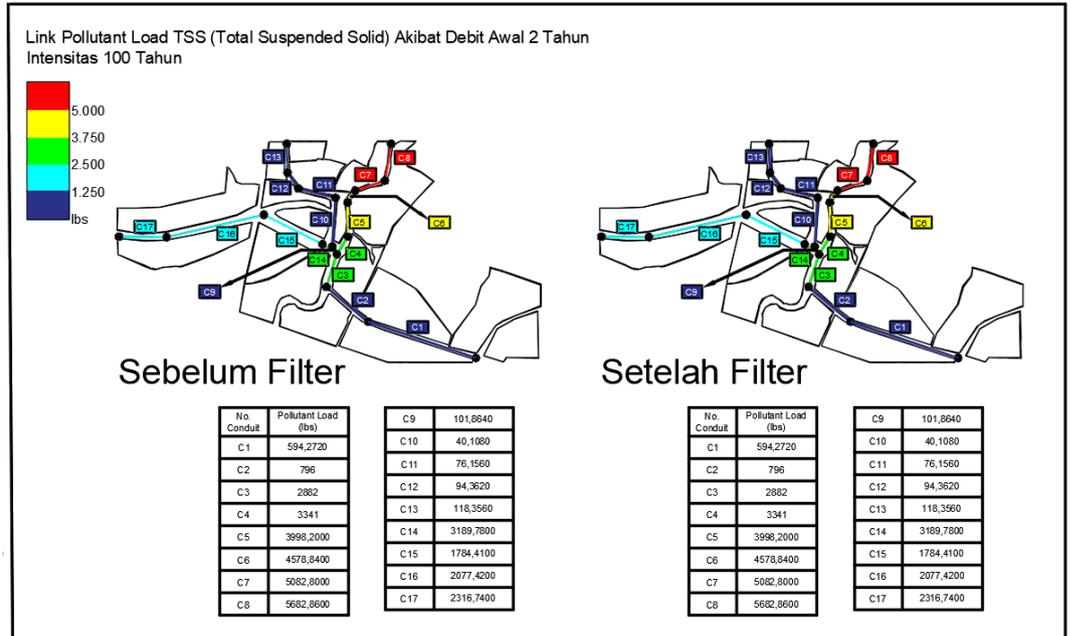
Hasil *Link Pollutant Load* TDS saat menerima debit awal 2 tahun memberitahu bahwa pada saluran 1 (*Conduit* C9-C13) dan saluran 3 (*Conduit* C1-C2), jumlah polutan yang melewati kedua saluran tersebut relatif rendah, ditandai dengan warna biru tua pada peta. Hal ini mengindikasikan

bahwa beban polutan TDS yang melewati dua saluran tersebut tidak sebanyak saluran lain. Sebaliknya, saluran 4 (*Conduit C3-C8*) menunjukkan peningkatan polutan secara bertahap hingga ditandai dengan warna merah, sehingga saluran ini perlu mendapat perhatian lebih. Sementara itu, saluran 2 (*Conduit C14-C17*) yang polutan TDS sedikit lebih banyak dari saluran 1 dan 3 yang ditandai dengan warna cyan.

Kemudian, hasil simulasi *Link Pollutant Load TSS* dapat dilihat pada Gambar 4. 27 merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load TSS* untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 28 merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load TSS* untuk intensitas hujan 100 tahun.



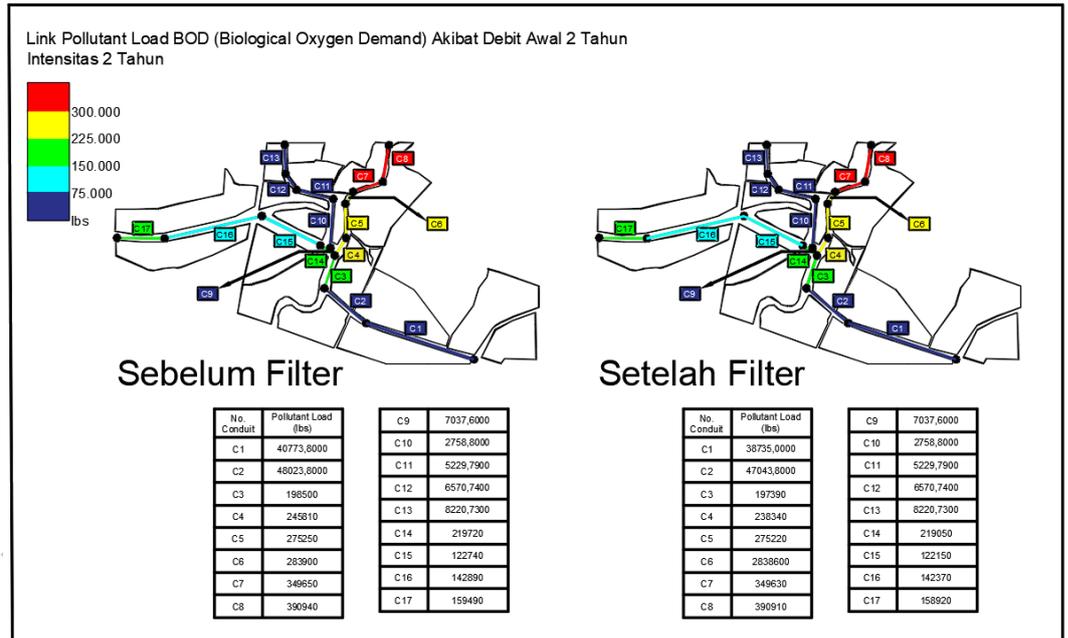
Gambar 4. 27 *Link Pollutant Load TSS* Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 2 Tahun
Sumber : SWMM 5.2



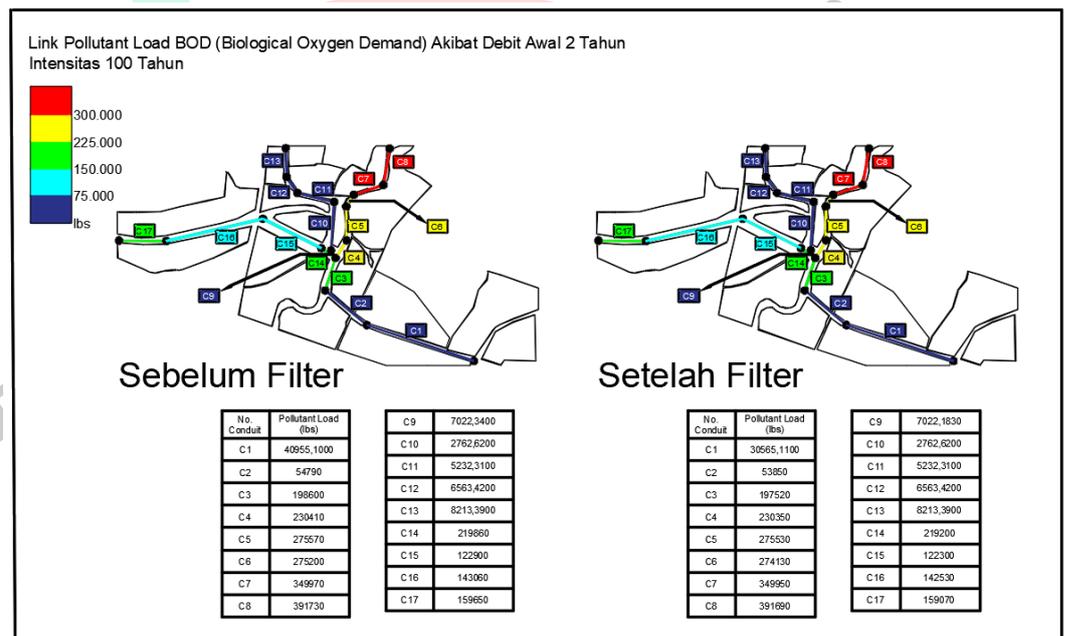
Gambar 4. 28 Link Pollutant Load TSS Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 2 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

Hasil *Link Pollutant Load* dari polutan TSS saat menerima debit awal 2 tahun memiliki karakteristik sebaran polutan yang mirip dengan polutan TDS. Satu-satunya perbedaan ada pada saluran 4 *Junction* C4 yang berwarna hijau sedangkan polutan TDS berwarna kuning. Sehingga dapat disimpulkan bahwa polutan TSS terbentuk sedikit lebih lambat dari TDS pada saluran 4. Selain itu pada dua gambar di atas dapat diketahui bahwa tidak ada perubahan sebaran polutan antara sebelum dan sesudah filter. Hal ini diakibatkan oleh penginputan komponen *Treatment* sebelumnya yang menyatakan bahwa polutan TSS tidak memiliki penginputan rumus *Removal Efficiency*.

Setelah itu, hasil *Link Pollutant Load* untuk BOD (*Biological Oxygen Demand*) dapat dilihat pada Gambar 4. 29 yang menunjukkan hasil simulasi *Link Pollutant Load* BOD untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 30 yang merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load* BOD untuk intensitas hujan 100 tahun.



Gambar 4. 29 Link Pollutant Load BOD Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 2 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

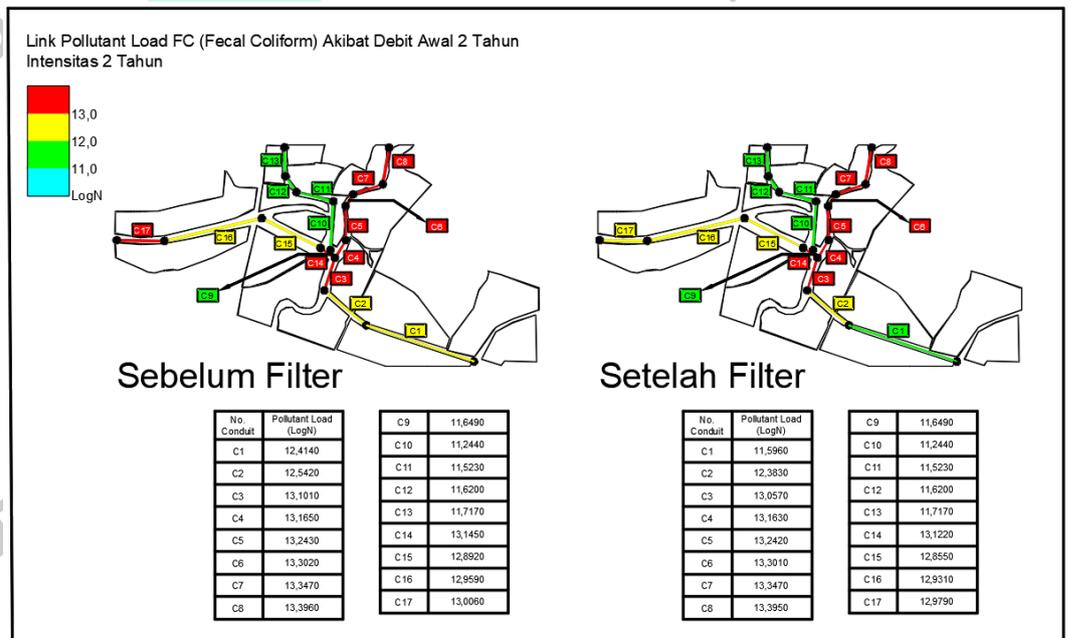


Gambar 4. 30 Link Pollutant Load BOD Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 2 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

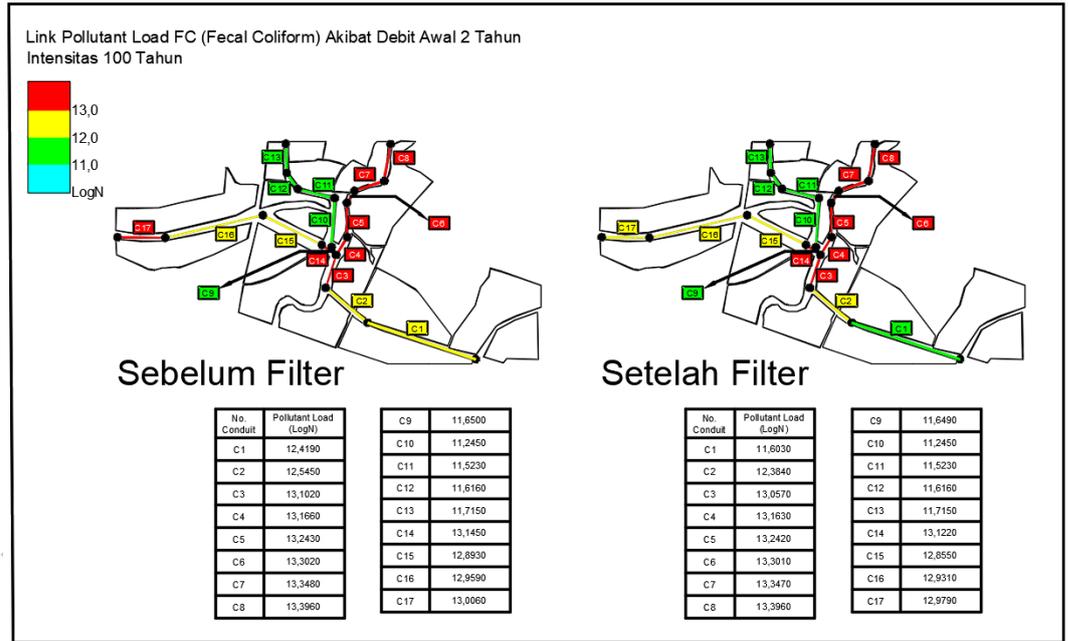
Hasil *Link Pollutant Load* pada polutan BOD saat menerima debit awal 2 tahun juga menunjukkan karakteristik penyebaran polutan yang serupa dengan polutan TDS dan TSS pada saluran 1 (*Conduit* C9-C13), 3 (*Conduit* C1-C2), dan 4 (*Conduit* C3-C8). Perbedaan

penyebaran polutan ada pada saluran 2 (*Conduit C15-C16*) yang berwarna *cyan*. Hal ini memberitahukan bahwa polutan menurun sementara pada *Conduit* tersebut dan kembali lagi pada rentang besaran sebelumnya yang berwarna hijau.

Dan terakhir, *Fecal Coliform* memiliki hasil *Link Pollutant Load* yang dapat dilihat pada Gambar 4. 31 yang menunjukkan hasil simulasi *Link Pollutant Load* BOD untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 32 yang menunjukkan hasil simulasi *Link Pollutant Load* BOD untuk intensitas hujan 100 tahun.



Gambar 4. 31 *Link Pollutant Load* FC Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 2 Tahun
Sumber : SWMM 5.2



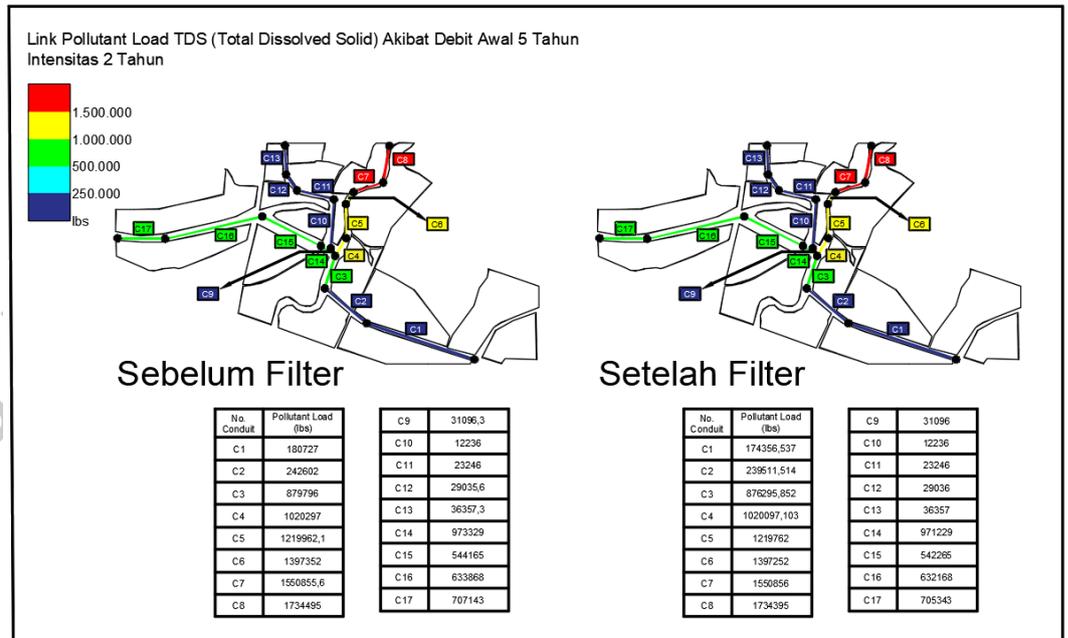
Gambar 4. 32 Link Pollutant Load FC Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 2 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

Hasil analisis *Link Pollutant Load* untuk polutan *Fecal Coliform* saat menerima debit awal 2 tahun menunjukkan karakteristik yang berbeda secara signifikan dibandingkan parameter lainnya, dengan satuan pengukuran yang juga berbeda, yaitu LogN. Saluran 1 (*Conduit* C9-C13) merupakan saluran yang sebaran polutannya lebih kecil dibandingkan saluran lain, ditandai dengan warna kuning. Saluran 2 memiliki sebaran polutan yang diawali sangat tinggi (warna merah) pada *Conduit* C14 dan diakhiri juga dengan sangat tinggi pada *Conduit* C17 tapi dengan menurun sebentar di tengah-tengah saluran penelitian (*Conduit* C15-C16) yang ditandai dengan warna kuning. saluran 3 (*Conduit* C1-C2) merupakan saluran kedua dengan sebaran polutan lebih kecil dibandingkan saluran 1 yang ditandai dengan warna kuning.

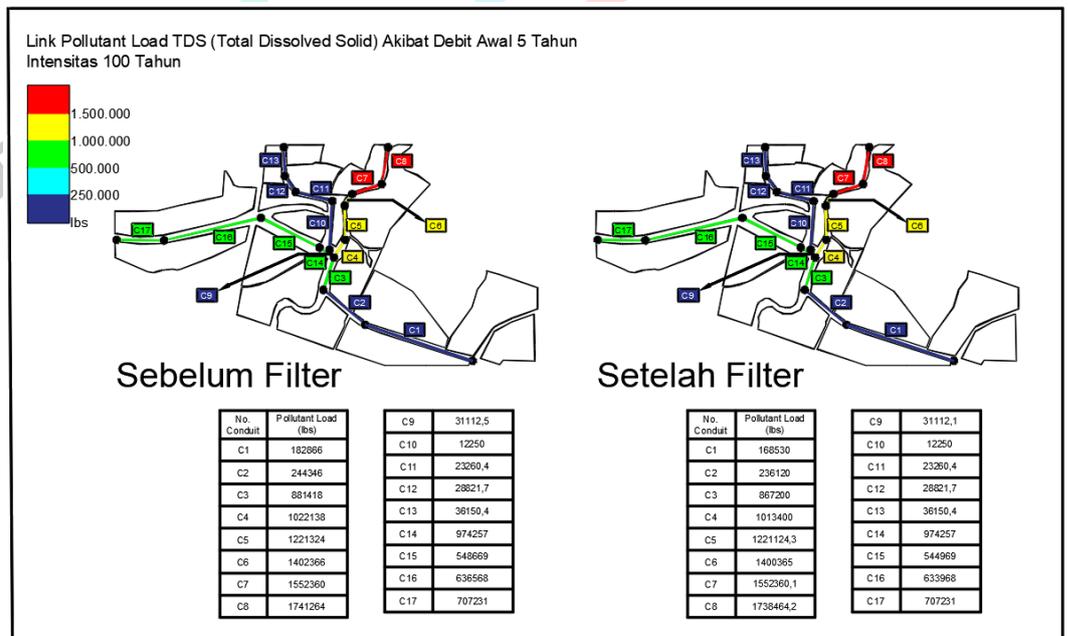
2. *Link Pollutant Load* Dengan Debit Awal 5 Tahun.

Hasil *Link Pollutant Load* kedua adalah hasil simulasi untuk debit awal yang diakibatkan curah hujan 5 tahun, yaitu sebesar 356,365 m³/detik untuk sungai Tarum Barat

dan 341,676 m³/detik. Gambar 4. 33 merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load* TDS untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 34 adalah hasil simulasi *Link Pollutant Load* TDS untuk intensitas hujan 100 tahun.

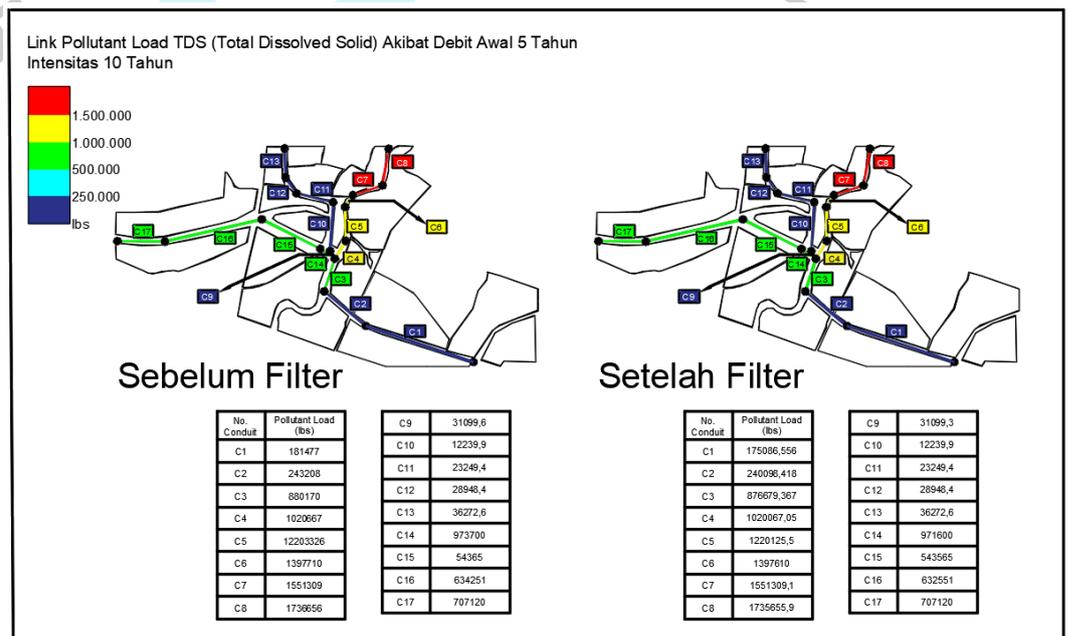


Gambar 4. 33 *Link Pollutant Load* TDS Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun
Sumber : SWMM 5.2



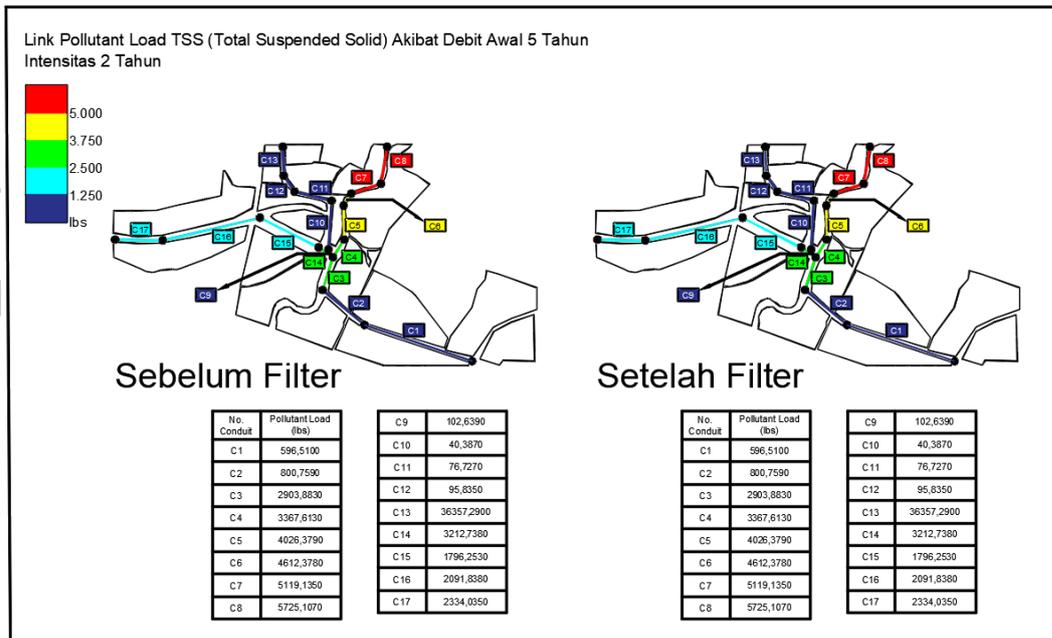
Gambar 4. 34 *Link Pollutant Load* TDS Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

Hasil *Link Pollutant Load* TDS saat menerima debit awal 5 tahun memiliki karakteristik yang mirip dengan saat simulasi menerima debit 2 tahun sebelumnya. Total polutan pada *Conduit* C1 di simulasi dengan debit awal 2 tahun dengan intensitas 100 tahun berjumlah 181.410 lbs sedangkan pada simulasi dengan debit awal 5 tahun dengan intensitas hujan 2 tahun berjumlah 180.726,5 lbs. Dua simulasi di atas dipilih untuk membandingkan antara hasil *Link Pollutant Load* debit awal lebih besar tapi intensitas hujan kecil dengan debit awal lebih kecil tapi intensitas hujan jauh lebih besar. Oleh karena itu, berdasarkan hasil dua simulasi dapat diketahui bahwa *Link Pollutant Load* TDS hampir memiliki hasil yang lebih besar saat debit awal ditambahkan walaupun dengan intensitas hujan yang jauh lebih kecil. *Link Pollutant Load* yang melewati jumlah polutan pada simulasi dengan debit awal 2 tahun saat 100 tahun adalah debit awal 5 tahun dengan intensitas hujan 10 tahun sebesar 181.476,6 lbs. Hasil simulasi *Link Pollutant Load* TDS untuk debit awal 5 tahun dengan intensitas hujan 10 tahun dapat dilihat pada Gambar 4. 35.

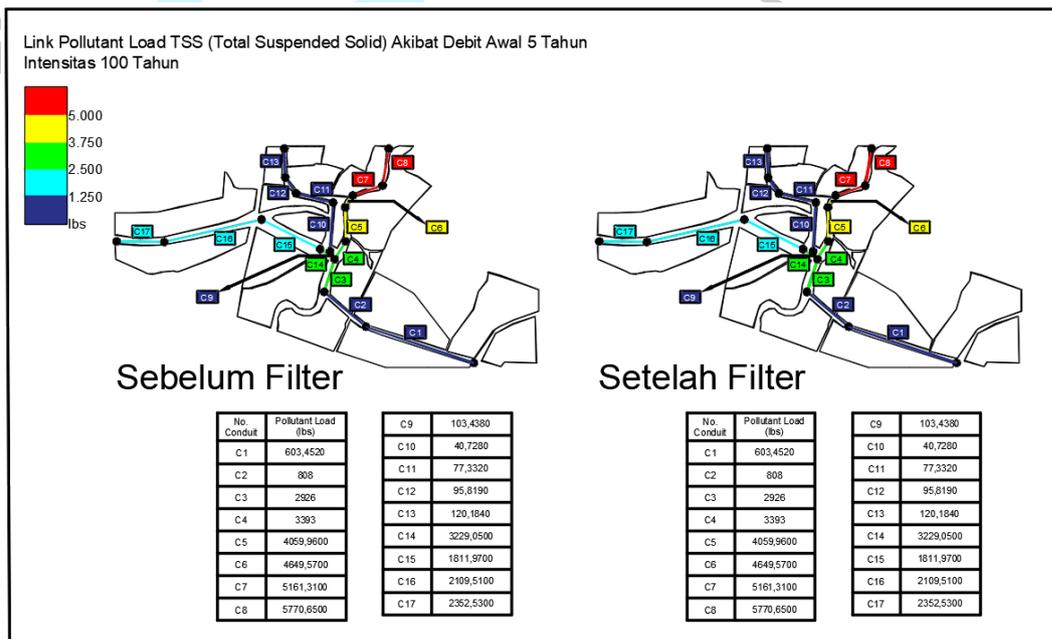


Gambar 4. 35 *Link Pollutant Load* TDS Untuk Intensitas Hujan 10 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun
 Sumber : SWMM 5.2

Kemudian, hasil simulasi *Link Pollutant Load* TSS dapat dilihat pada Gambar 4. 36 yang merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load* TSS untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 37 yang merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load* TSS untuk intensitas hujan 100 tahun.



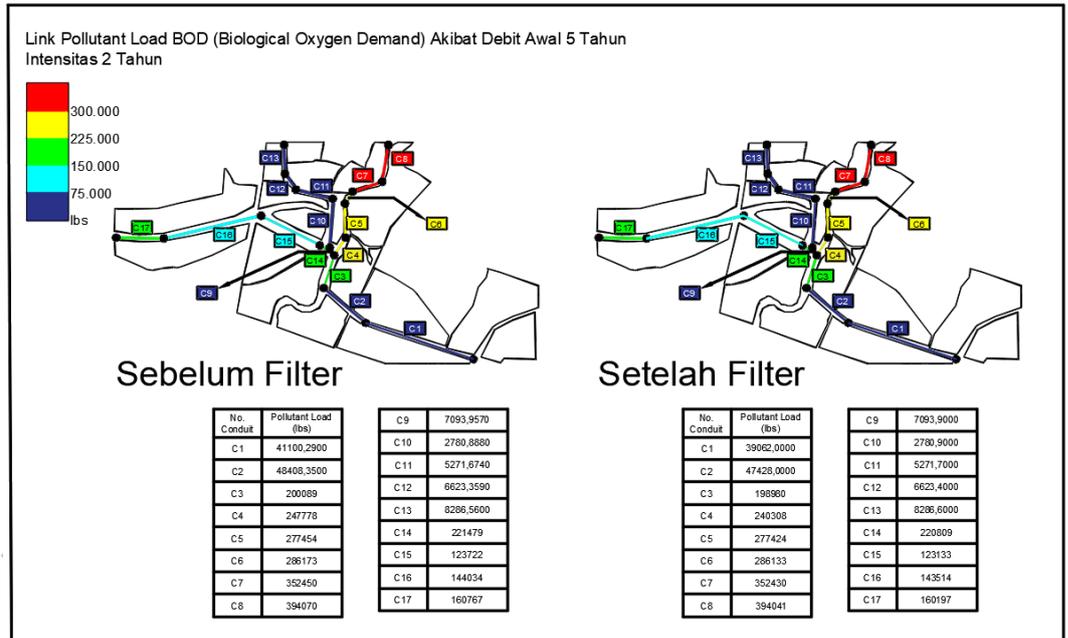
Gambar 4. 36 *Link Pollutant Load* TSS Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun
 Sumber : SWMM 5.2



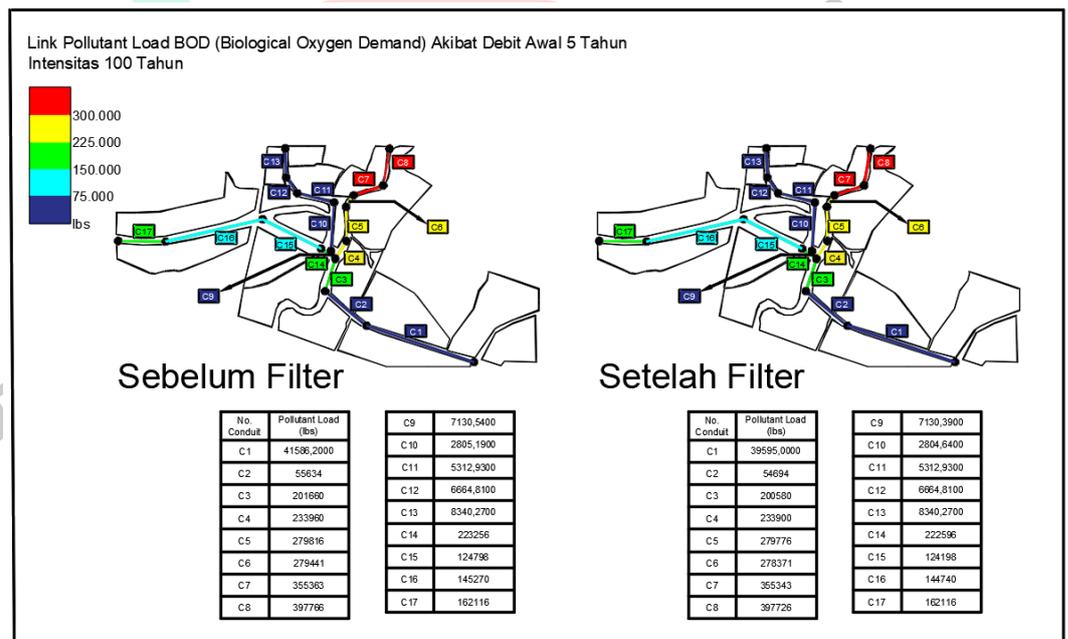
Gambar 4. 37 *Link Pollutant Load* TSS Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

Hasil *Link Pollutant Load* dari polutan TSS saat menerima debit awal 5 tahun memiliki karakteristik sebaran polutan yang mirip dengan polutan TSS dengan variasi debit awal lainnya. Total polutan pada *Conduit* C1 di simulasi dengan debit awal 2 tahun dengan intensitas 100 tahun berjumlah 594,272 lbs sedangkan pada simulasi dengan debit awal 5 tahun dengan intensitas hujan 2 tahun berjumlah 596,51 lbs. Berbeda dengan polutan TDS, saat membandingkan antara dua simulasi dengan variasi yang sama angka *Link Pollutant Load* dengan debit awal lebih besar tapi intensitas lebih kecil sudah melewati angka *Link Pollutant Load* dengan debit awal lebih kecil tapi dengan intensitas hujan yang jauh lebih besar.

Setelah itu, hasil *Link Pollutant Load* untuk BOD (*Biological Oxygen Demand*) dapat dilihat pada Gambar 4. 38 yang menunjukkan hasil simulasi *Link Pollutant Load* BOD untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 39 yang merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load* BOD untuk intensitas hujan 100 tahun.



Gambar 4. 38 Link Pollutant Load BOD Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

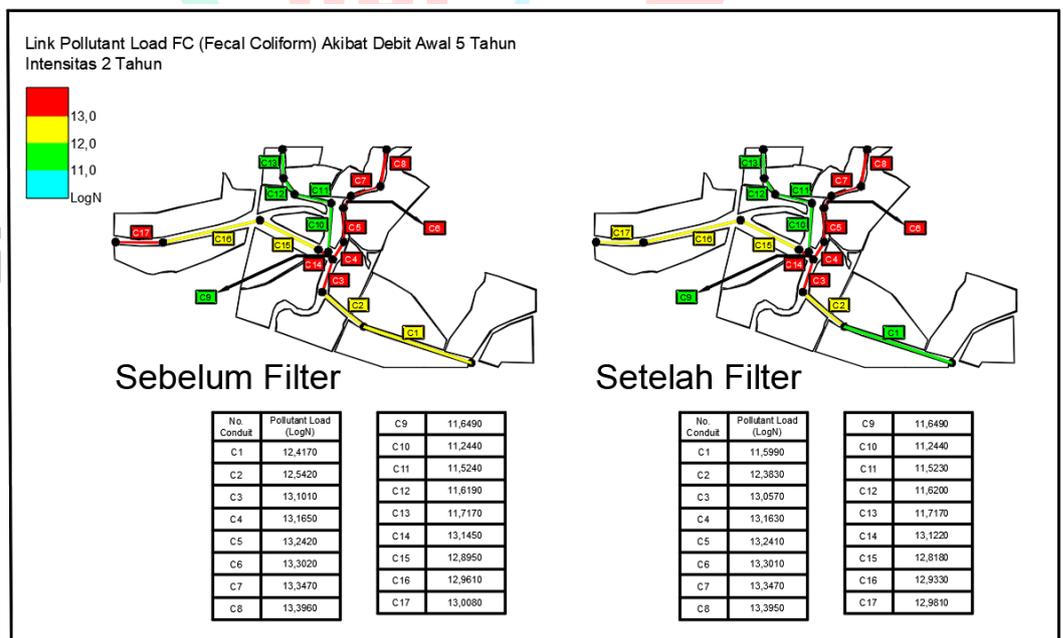


Gambar 4. 39 Link Pollutant Load BOD Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

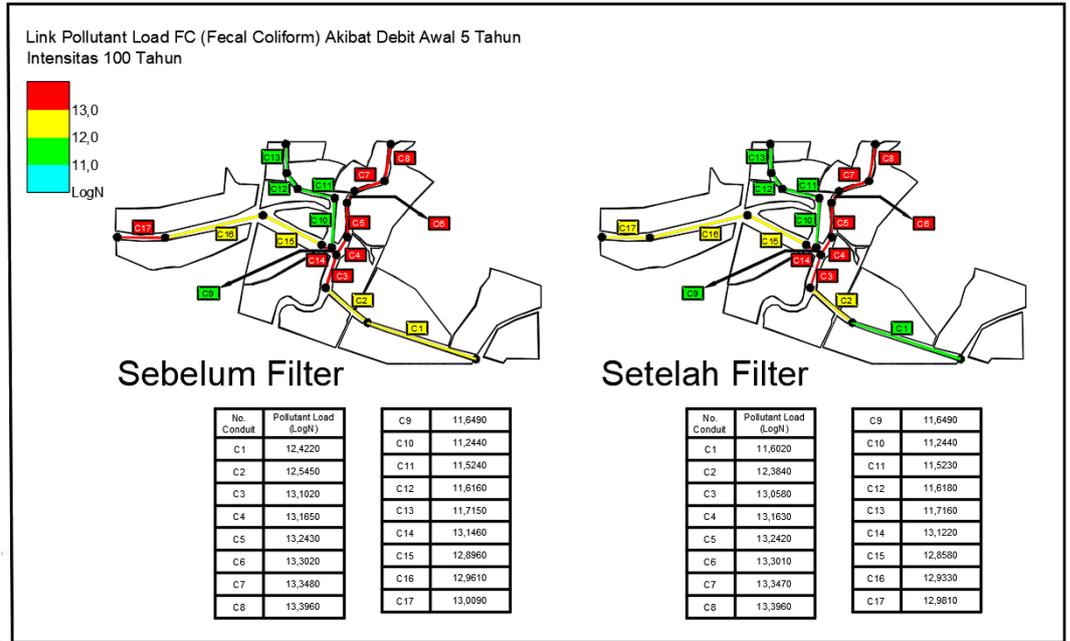
Hasil *Link Pollutant Load* pada polutan BOD saat menerima debit awal 5 tahun juga menunjukkan karakteristik penyebaran polutan yang serupa dengan polutan BOD dengan variasi debit awal lainnya. Total polutan pada *Conduit* C1 di simulasi dengan debit awal 2

tahun dengan intensitas 100 tahun berjumlah 40.955,11 lbs sedangkan pada simulasi dengan debit awal 5 tahun dengan intensitas hujan 2 tahun berjumlah 41,100,35 lbs. Berdasarkan dua simulasi tersebut, sebaran polutan BOD mirip seperti polutan TSS karena saat membandingkan antara dua simulasi dengan variasi yang sama angka *Link Pollutant Load* dengan debit awal lebih besar tapi intensitas lebih kecil sudah melewati angka *Link Pollutant Load* dengan debit awal lebih kecil tapi dengan intensitas hujan yang jauh lebih besar.

Dan terakhir, *Fecal Coliform* memiliki hasil *Link Pollutant Load* yang dapat dilihat pada Gambar 4. 40 yang menunjukkan hasil simulasi *Link Pollutant Load Fecal Coliform* untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 41 yang menunjukkan hasil simulasi *Link Pollutant Load Fecal Coliform* untuk intensitas hujan 100 tahun.



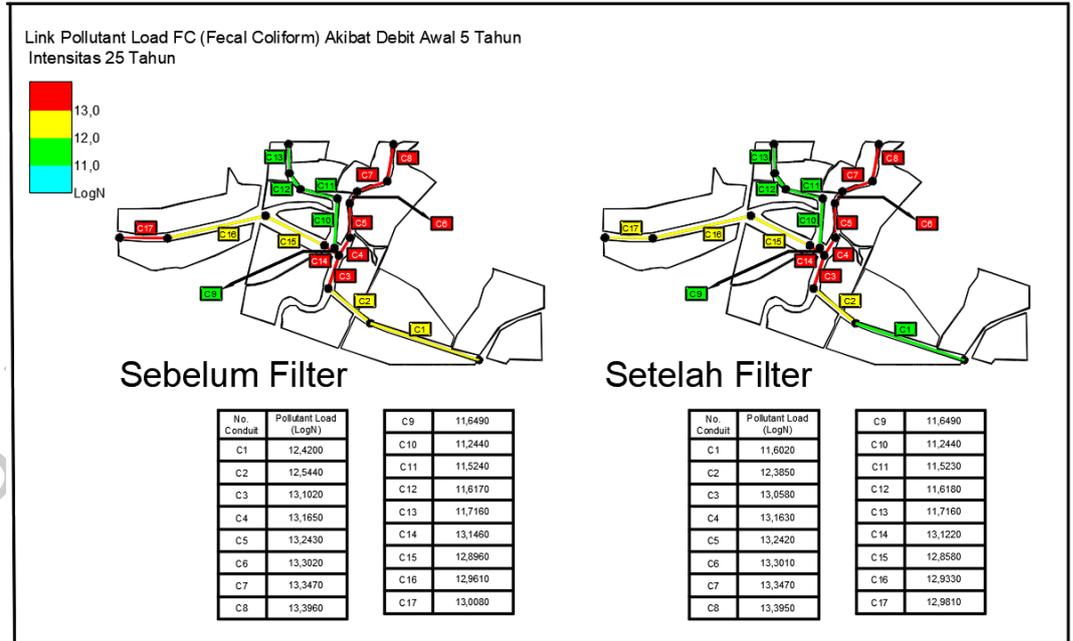
Gambar 4. 40 *Link Pollutant Load FC* Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun
Sumber : SWMM 5.2



Gambar 4. 41 Link Pollutant Load FC Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

Hasil analisis *Link Pollutant Load* untuk polutan *Fecal Coliform* saat menerima debit awal 5 tahun menunjukkan karakteristik yang dengan hasil pengujian polutan kekeruhan serupa dengan polutan BOD dengan variasi debit awal lainnya. Total polutan pada *Conduit C1* di simulasi dengan debit awal 2 tahun dengan intensitas 100 tahun berjumlah 12,419 LogN sedangkan pada simulasi dengan debit awal 5 tahun dengan intensitas hujan 2 tahun berjumlah 12,417 LogN. Berdasarkan dua simulasi tersebut, sebaran polutan *Fecal Coliform* berbeda dengan sebaran polutan lainnya karena *Link Pollutant Load* dengan debit awal lebih besar tapi intensitas lebih kecil belum melewati *Link Pollutant Load* dengan debit awal lebih kecil tapi dengan intensitas hujan yang jauh lebih besar. *Link Pollutant Load Fecal Coliform* yang melewati simulasi dengan debit awal 2 tahun dengan intensitas hujan 100 tahun adalah simulasi dengan debit awal 5 tahun saat intensitas hujan 25 tahun dengan jumlah polutan pada *Conduit C1* sebesar 12,420 LogN. Hasil simulasi *Link*

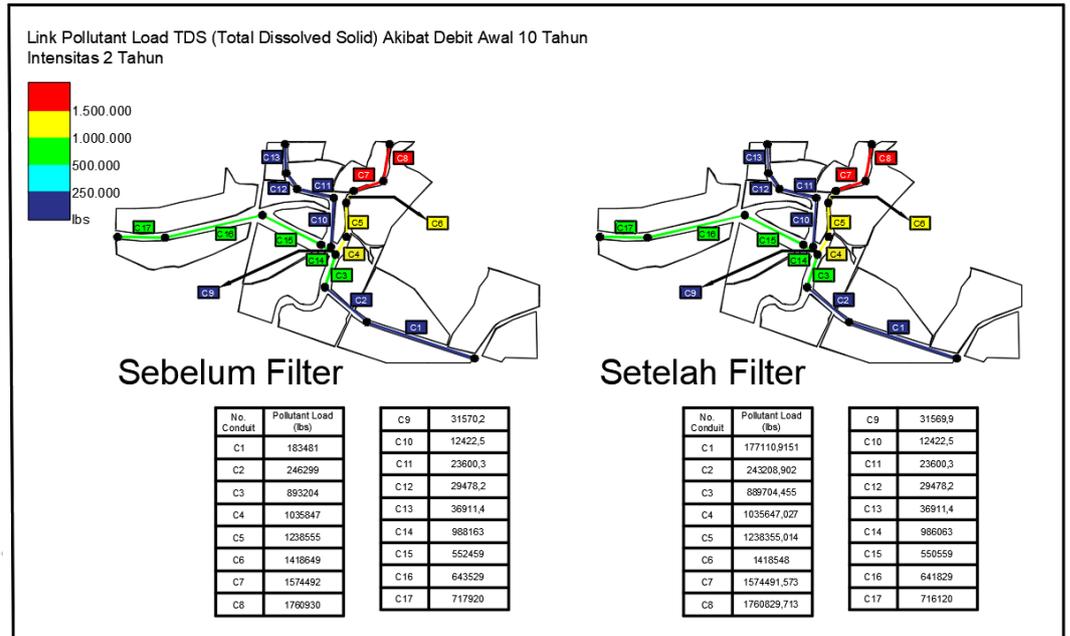
Pollutant Load Fecal Coliform untuk debit awal 5 tahun dengan intensitas hujan 25 tahun dapat dilihat pada Gambar 4. 42.



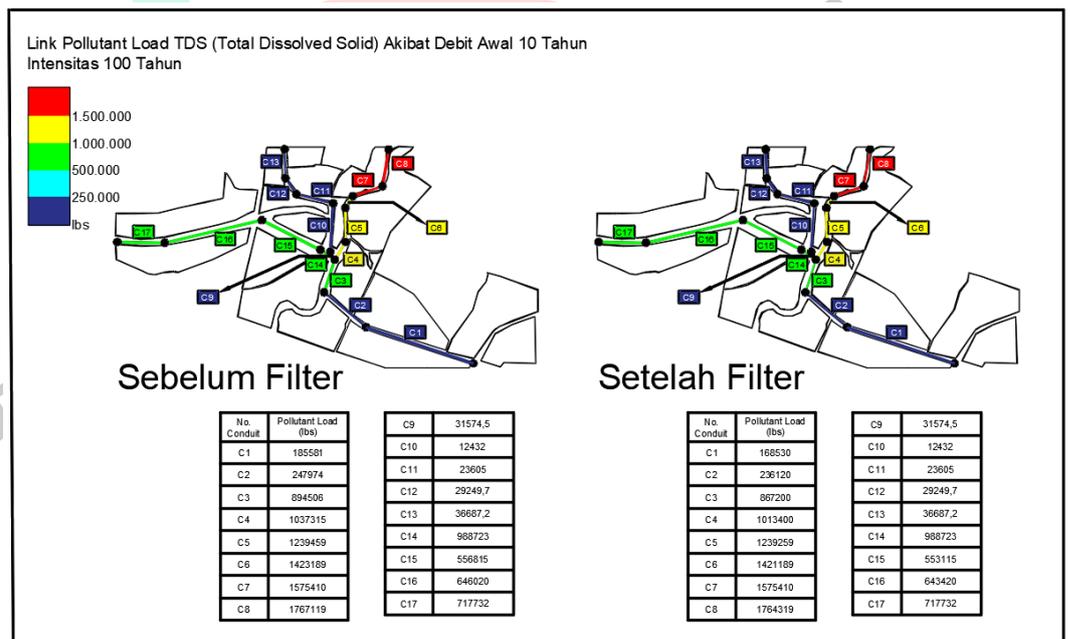
Gambar 4. 42 *Link Pollutant Load FC* Untuk Intensitas Hujan 25 Tahun Akibat Debit Awal 5 Tahun Sumber : SWMM 5.2

3. *Link Pollutant Load* Dengan Debit Awal 10 Tahun.

Hasil *Link Pollutant Load* ketiga dan terakhir adalah hasil simulasi untuk debit awal yang diakibatkan curah hujan 10 tahun, yaitu sebesar 620,789 m³/detik untuk sungai Tarum Barat dan 623,725 m³/detik. Gambar 4. 43 merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load* TDS untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 44 adalah hasil simulasi *Link Pollutant Load* TDS untuk intensitas hujan 100 tahun.



Gambar 4. 43 Link Pollutant Load TDS Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 10 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

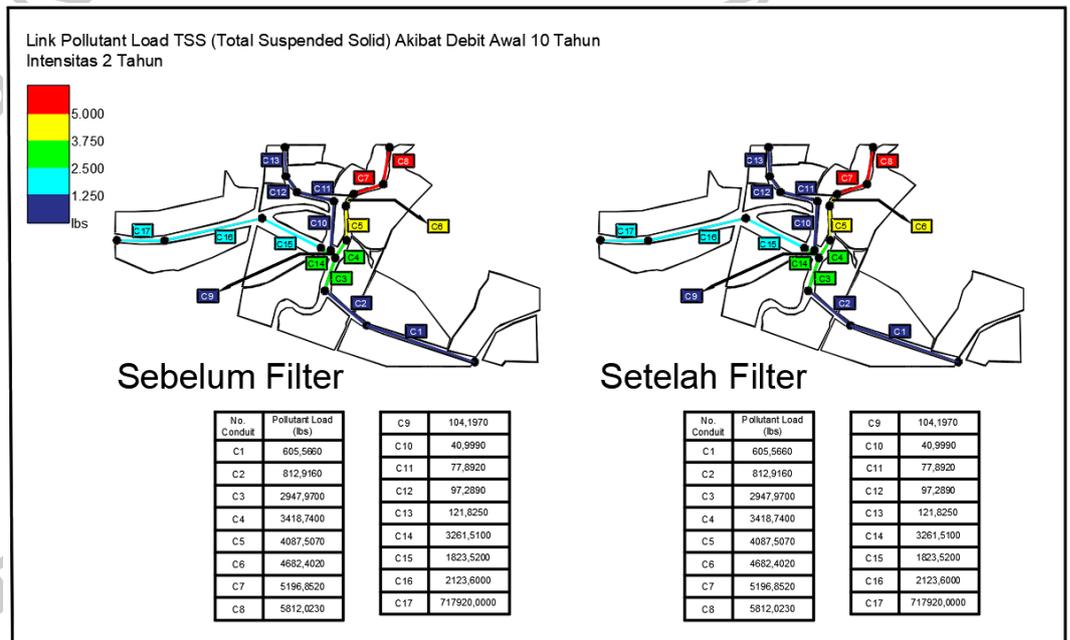


Gambar 4. 44 Link Pollutant Load TDS Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 10 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

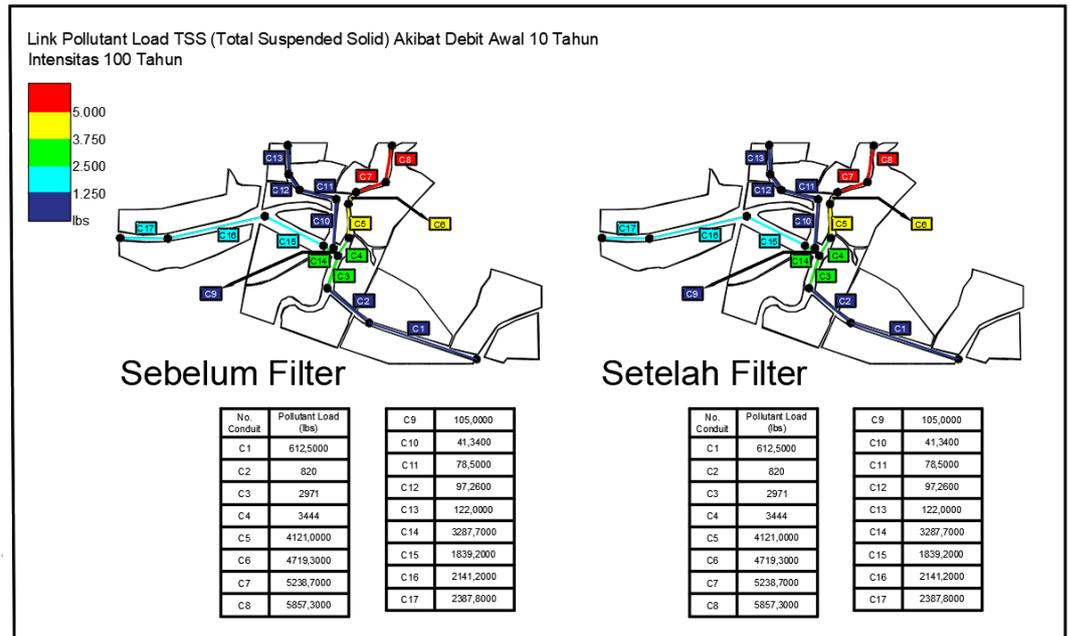
Hasil *Link Pollutant Load* pada polutan TDS dengan debit awal 5 tahun saat intensitas 100 tahun berjumlah 182.866 lbs sedangkan pada simulasi dengan debit awal 10 tahun dengan intensitas hujan 2 tahun berjumlah 183.481 lbs. Berbeda saat membandingkan antara hasil sebaran polutan

TDS pada debit awal 2 tahun dan 5 tahun. Hasil *Link Pollutant Load* debit awal 10 tahun dengan intensitas hujan yang lebih rendah, yaitu 2 tahun sudah melewati hasil *Link Pollutant Load* debit awal 5 tahun dengan intensitas hujan yang jauh lebih tinggi, yaitu intensitas hujan 100 tahun.

Kemudian, hasil simulasi *Link Pollutant Load TSS* dapat dilihat pada Gambar 4. 45 yang merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load TSS* untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 46 yang merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load TSS* untuk intensitas hujan 100 tahun.



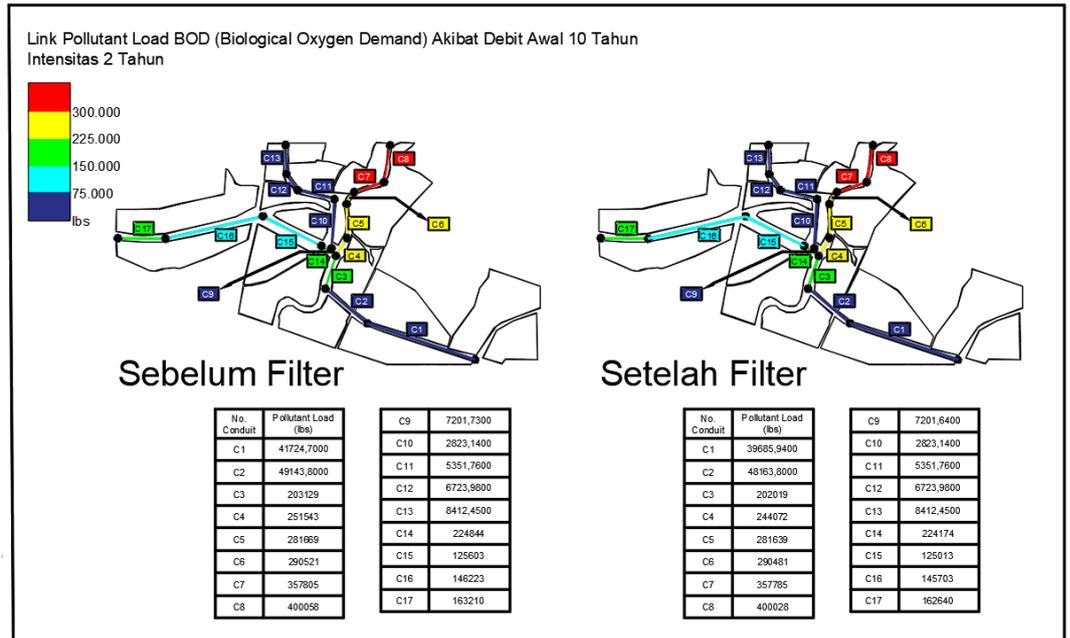
Gambar 4. 45 *Link Pollutant Load TSS* Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 10 Tahun
Sumber : SWMM 5.2



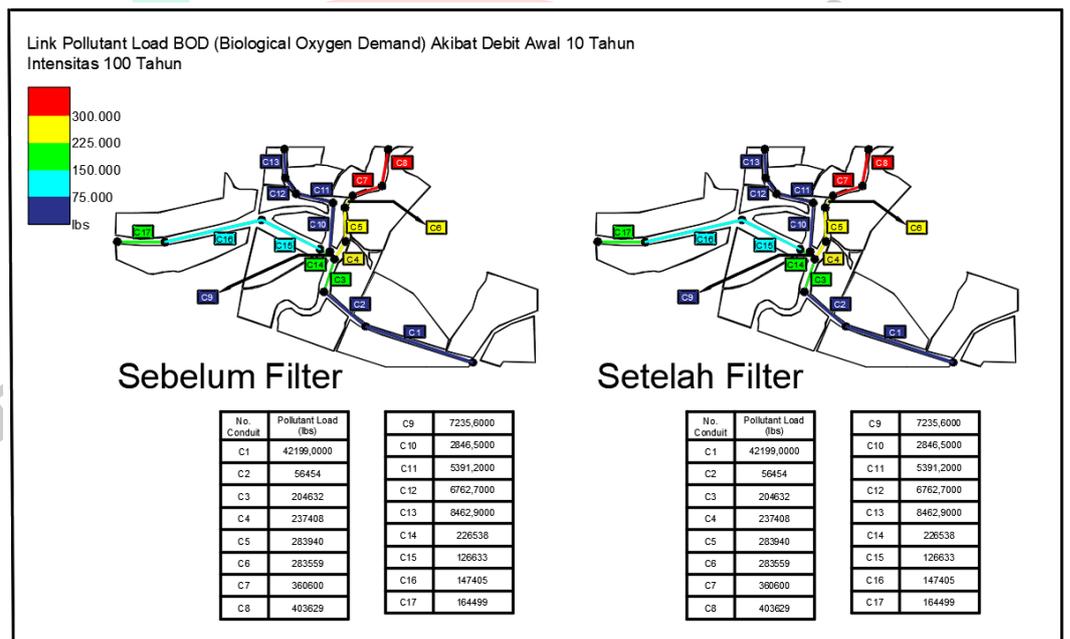
Gambar 4. 46 Link Pollutant Load TSS Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 10 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

Hasil *Link Pollutant Load* pada polutan TSS dengan debit awal 5 tahun saat intensitas 100 tahun berjumlah 603.452 lbs sedangkan pada simulasi dengan debit awal 10 tahun dengan intensitas hujan 2 tahun berjumlah 605.566 lbs. Berdasarkan perbandingan dua simulasi di atas dapat diketahui bahwa polutan TSS memiliki hasil yang selalu konsisten lebih besar untuk simulasi dengan debit awal lebih besar berapapun intensitas hujannya.

Setelah itu, hasil *Link Pollutant Load* untuk BOD (*Biological Oxygen Demand*) dapat dilihat pada Gambar 4. 47 yang menunjukkan hasil simulasi *Link Pollutant Load* BOD untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 48 yang merupakan hasil simulasi *Link Pollutant Load* BOD untuk intensitas hujan 100 tahun.



Gambar 4. 47 Link Pollutant Load BOD Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 10 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

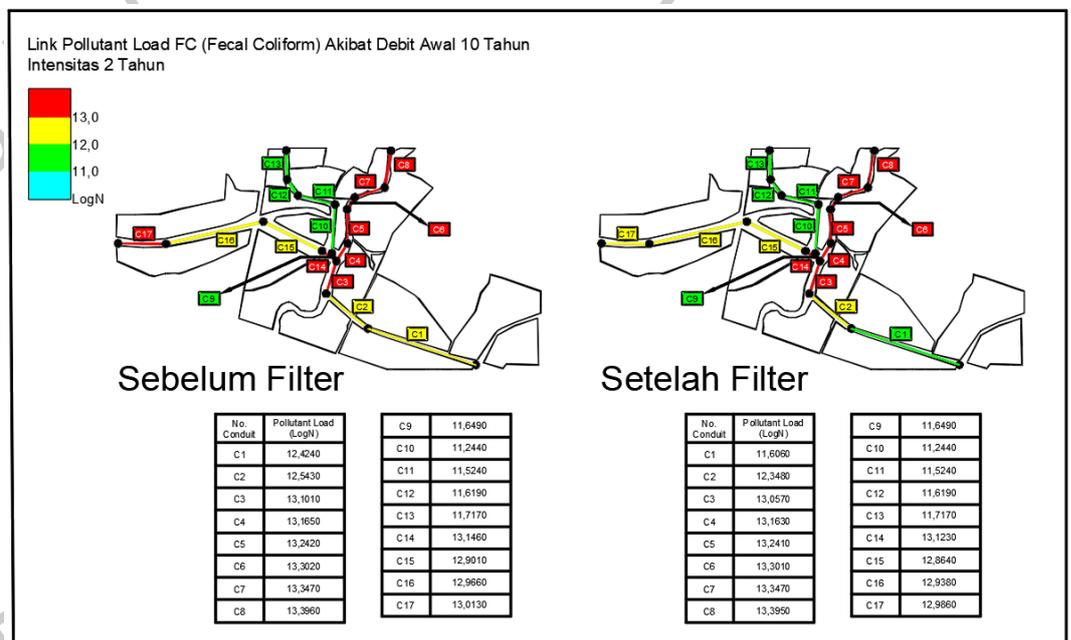


Gambar 4. 48 Link Pollutant Load BOD Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 10 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

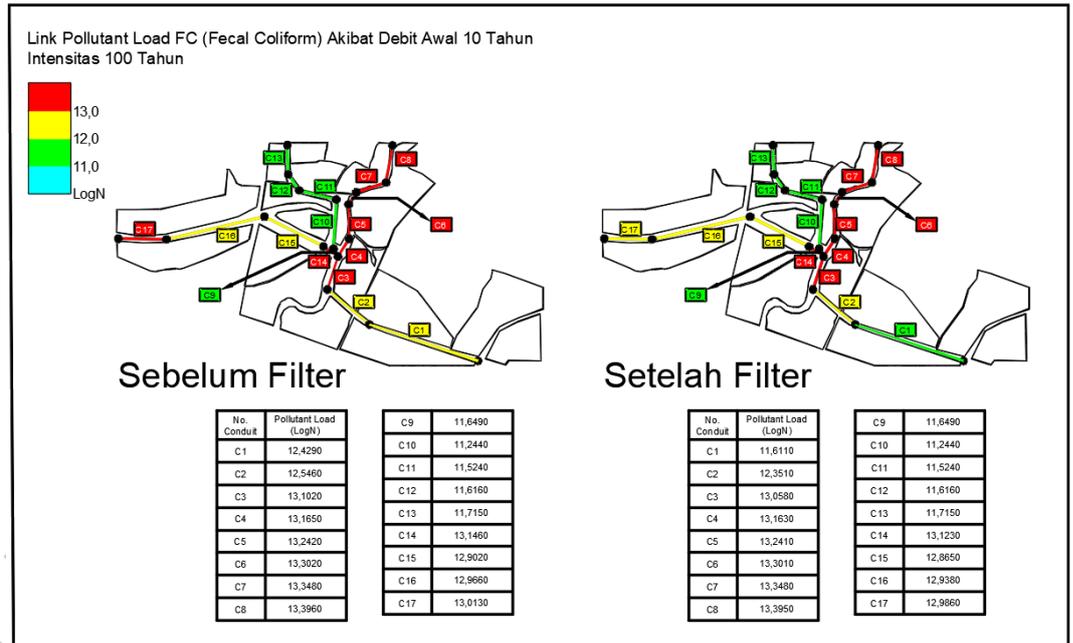
Hasil *Link Pollutant Load* pada polutan BOD dengan debit awal 5 tahun saat intensitas 100 tahun berjumlah 41.586 lbs sedangkan pada simulasi dengan debit awal 10 tahun dengan intensitas hujan 2 tahun berjumlah 41.724 lbs. Berdasarkan perbandingan dua simulasi di atas dapat

diketahui bahwa polutan BOD juga memiliki hasil yang selalu konsisten lebih besar untuk simulasi dengan debit awal lebih besar berapapun intensitas hujannya.

Dan terakhir, *Fecal Coliform* memiliki hasil *Link Pollutant Load* yang dapat dilihat pada Gambar 4. 49 yang menunjukkan hasil simulasi *Link Pollutant Load Fecal Coliform* untuk intensitas hujan 2 tahun dan Gambar 4. 50 yang menunjukkan hasil simulasi *Link Pollutant Load Fecal Coliform* untuk intensitas hujan 100 tahun.



Gambar 4. 49 *Link Pollutant Load FC* Untuk Intensitas Hujan 2 Tahun Akibat Debit Awal 10 Tahun
Sumber : SWMM 5.2



Gambar 4. 50 Link Pollutant Load FC Untuk Intensitas Hujan 100 Tahun Akibat Debit Awal 10 Tahun
Sumber : SWMM 5.2

Hasil *Link Pollutant Load* pada polutan *Fecal Coliform* dengan debit awal 5 tahun saat intensitas 100 tahun berjumlah 12,422 LogN sedangkan pada simulasi dengan debit awal 10 tahun dengan intensitas hujan 2 tahun berjumlah 12,424 LogN. Berbeda saat membandingkan antara hasil sebaran polutan *Fecal Coliform* pada debit awal 2 tahun dan 5 tahun. Hasil *Link Pollutant Load* debit awal 10 tahun dengan intensitas hujan yang lebih rendah, yaitu 2 tahun sudah melewati hasil *Link Pollutant Load* debit awal 5 tahun dengan intensitas hujan yang jauh lebih tinggi, yaitu intensitas hujan 100 tahun.

4.2.4 Analisis Simulasi

Hasil dan tren hasil penjelasan kenapa hasilnya seperti itu, pengaruh ke kawasan kajian apa

Simulasi SWMM yang dilakukan pada penelitian untuk mengetahui perilaku sebaran polutan pada wilayah kajian memberitahukan beberapa hal, antara lain :

1. Berdasarkan hasil *Link Pollutant Load* dengan variasi debit awal 2, 5, dan 10 tahun dapat diketahui bahwa pengaruh debit awal pada simulasi lebih besar daripada intensitas hujan.
2. Tipe periode hujan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah total polutan yang diteliti. Hal ini ditunjukkan oleh hasil *Link Pollutant Load* yang relatif serupa untuk seluruh parameter polutan.
3. Penambahan karbon aktif pada alat BSF dinilai sesuai menurunkan polutan di wilayah kajian jika alat tetap digunakan selama lebih dari 10 hari dengan sumber air yang sama untuk pengurangan polutan secara keseluruhan ataupun *point-of-use*
4. Polutan *Fecal Coliform* menjadi satu-satunya polutan yang terlihat jelas perbedaan antara sebelum dan sesudah filter. Hal ini terlihat pada gambar-gambar di atas bahwa sebaran polutan *Conduit C1* menurun dari warna kuning ke warna hijau dan *Conduit C17* yang juga menurun dari merah ke kuning.
5. Alat BSF yang diletakkan pada *Junction 9* (*node* saluran yang mengalir dari awal Sungai Tarum Barat, Bendung Curug, Klari, Karawang) kurang efektif dalam menurunkan polutan pada seluruh saluran penelitian akan tetapi cukup efektif jika digunakan secara langsung atau *point-of-use* untuk perbaikan kualitas air.

4.3 Pembahasan Penelitian

Berdasarkan hasil uji efektivitas Biosand Filter (BSF) dalam meningkatkan kualitas air Sungai Saluran Irigasi Tarum Barat melalui simulasi SWMM, dapat ditarik beberapa poin penting yang perlu dibahas lebih lanjut. Pembahasan difokuskan pada signifikansi poin-poin tersebut dalam penelitian ini dengan mengacu pada referensi penelitian sebelumnya, sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih relevan terhadap konteks penelitian. Poin-poin yang dimaksud antara lain adalah :

1. Efektivitas BSF dalam Menurunkan Kekeruhan dan Polutan Mikrobiologi.
Hasil penelitian menunjukkan bahwa BSF efektif dalam menurunkan polutan mikrobiologi (*Fecal Coliform* dan *Total Coliform*) serta kekeruhan

secara signifikan. Penurunan *Fecal Coliform* dari 321.000 CFU menjadi 4 CFU serta kekeruhan dari 12,4 NTU menjadi 0,4 NTU pada hari ke-15 mengindikasikan efektivitas yang tinggi dalam meningkatkan kualitas air.

Mekanisme ini terutama bergantung pada perkembangan biofilm yang terbentuk pada lapisan pasir dan karbon aktif BSF penelitian. Hasil ini sejalan dengan penelitian (T.K. Das, 2016), yang menunjukkan bahwa BSF dengan karakteristik yang sama pada penelitian memiliki efektivitas tinggi dalam menurunkan polutan mikrobiologi dan kekeruhan.

Namun, peningkatan sementara kekeruhan pada hari ke-10 menunjukkan pelepasan material dari biofilm yang masih dalam tahap stabilisasi. Hal ini menyoroti pentingnya waktu stabilisasi awal sebelum penggunaan BSF secara kontinu.

2. Efek Penambahan Karbon Aktif

Penggunaan karbon aktif dalam BSF pada penelitian ini menunjukkan efektivitas moderat dalam menurunkan nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), yang awalnya sebanyak 35 mg/L menjadi 27 mg/L pada hari ke-15 dan polutan *Total Dissolved Solids* (TDS), yaitu dari 156 mg/L menjadi 131 mg/L pada hari ke-15. Meskipun terjadi peningkatan sementara pada hari ke-5 dan ke-10, karbon aktif terbukti mampu menyerap zat terlarut dalam air setelah mencapai kestabilan.

Penurunan BOD dan TDS ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ratnawati & Ulfah, 2020) juga menunjukkan bahwa karbon aktif meningkatkan kemampuan BSF dalam menyerap polutan kimiawi seperti BOD dan polutan fisik seperti TDS dan *Total Suspended Solids* (TSS).

Akan tetapi, pada penelitian ini terdeteksi bahwa BOD mengalami peningkatan dari 2 mg/L pada hari ke-5 menjadi 27 mg/L pada hari ke-15. Ini menandakan bahwa biofilm dalam BSF semakin matang dan aktif dalam mendegradasi bahan organik, meskipun meningkatkan kebutuhan oksigen dalam air hasil filtrasi.

Perbedaan hasil uji juga terjadi pada polutan fisik TDS. Hasil uji TDS mengalami peningkatan pada awal pengujian, yaitu sebesar 226 mg/L pada pengujian hari ke-5 yang hanya sebesar 156 mg/L. Polutan TDS yang

terdeteksi pada sampel air kemudian menurun hingga 131 mg/L pada pengujian hari ke-5. Hal ini disebabkan oleh penjelasan yang sama pada ketidakstabilan polutan kekeruhan, yaitu adanya pelepasan material dari biofilm yang belum sepenuhnya stabil. Sehingga perlu untuk menambah proses klorinasi diakhir proses filter seperti yang dilakukan pada penelitian (A.H.M. Enamul, 2016) sehingga air hasil filtrasi dapat lebih optimal sesuai dengan standar kualitas air yang diatur dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023

3. BSF sebagai Solusi *Point-of-Use*.

Berdasarkan hasil simulasi SWMM dalam subbab 4.2.4, BSF lebih efektif sebagai solusi pengolahan air *point-of-use* dibandingkan dengan skala besar. Simulasi menunjukkan bahwa meskipun BSF mampu menurunkan konsentrasi polutan di satu saluran, efektivitasnya menurun ketika diterapkan pada keseluruhan sistem sungai yang kompleks.

Penelitian oleh Duran Romero (2020) mendukung temuan ini, menunjukkan bahwa BSF lebih efektif untuk skala rumah tangga dengan pencemaran yang terkonsentrasi. Selain itu, penelitian ini juga menggarisbawahi pentingnya pengelolaan BSF secara lokal untuk memastikan hasil yang optimal.

Hasil ini menunjukkan bahwa BSF dapat menjadi solusi andal untuk kebutuhan pengolahan air di wilayah pedesaan atau daerah yang kesulitan mengakses teknologi pengolahan air skala besar. Untuk mendukung penerapan ini, penyuluhan dan pelatihan kepada masyarakat lokal dapat meningkatkan keberhasilan implementasi BSF.