BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA DATA

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PDAM Tirta Binangun Kulon Progo yang diwakilkan pada tiga unit Instalasi Pengolahan Air (IPA), yaitu IPA Progo, IPA Sermo, dan IPA Sendang Sari.

4.1.1 PDAM Tirta Binangun Kulon Progo

Kulon Progo merupakan daerah kabupaten yang cukup kaya akan dataran tinggi dan kawasan yang masih asri. Terletak di ujung barat D.I. Yogyakarta, Kulon Progo memiliki sebuah waduk, 7 mata air, dan dilewati oleh 7 sungai baik hulu maupun hilir. Kulon Progo memiliki curah hujan tertinggi pada bulan November dan terendah pada bulan Agustus. Suhu lingkungan tertinggi terjadi pada bulan Oktober dan suhu lingkungan terendah terjadi pada bulan Juli (Kulon Progo Regency, 2005)

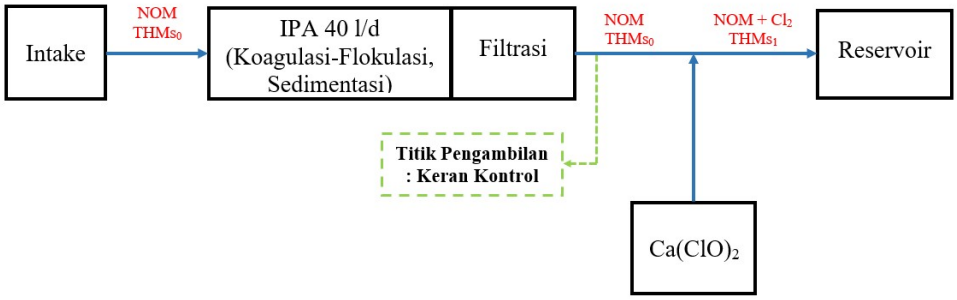
PDAM Tirta Binangun Kulon Progo merupakan perusahaan daerah bidang air minum yang menyediakan layanan pengolahan dan pendistribusian air bersih di kawasan Kulon Progo. Tidak hanya air bersih, pada tahun 2013 PDAM Tirta Binangun mengembangkan usahanya dengan memproduksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) “Air Ku”. Hingga saat ini, PDAM telah melayani lebih dari 20 ribu pelanggan yang terbagi menjadi 10 kantor/unit cabang dan 12 IPA dengan menggunakan berbagai sumber air yaitu Sungai Progo, Waduk Sermo, Mata Air Clereng, Mata Air Grembul, Mata Air Gua Upas, dan Mata Air Mudal.

4.1.2 Kondisi Titik Pengambilan Sampel Air

Pada penelitian ini, ketiga jenis sumber air di Kulon Progo diwakilkan oleh 3 buah IPA yang mewakili sumber air Sungai Progo, Waduk Sermo, dan Mata Air Clereng.

4.1.2.1 Instalasi Pengolahan Air Progo

Instalasi Pengolahan Air (IPA) Progo PDAM Tirta Binangun Kulon Progo terletak di tepi Sungai Progo dengan jarak kurang lebih 60 m dari instalasi pengolahan air. IPA Progo berada di kecamatan Sentolo dan melayani lebih dari 1.000 KK dengan cakupan wilayah pelayanan meliputi kecamatan Sentolo. Aktivitas masyarakat di daerah sekitar sungai berupa tempat tinggal penduduk cukup padat, serta ditemukan adanya lahan pertanian pada salah satu sisi sungai dan berjarak jarak 1,5 dari lokasi IPA. Meskipun begitu, daerah sepadan sungai secara keseluruhan masih hijau dan asri, terlihat dari banyaknya tutupan vegetasi yang tumbuh disekelilingnya. Pemilihan IPA Progo sebagai lokasi titik pengambilan sampel didasarkan atas kondisi IPA yang memenuhi kebutuhan penelitian, kemudahan akses menuju lokasi IPA dan kelengkapan unit proses yang digunakan. Diagram IPA Progo ditunjukkan pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



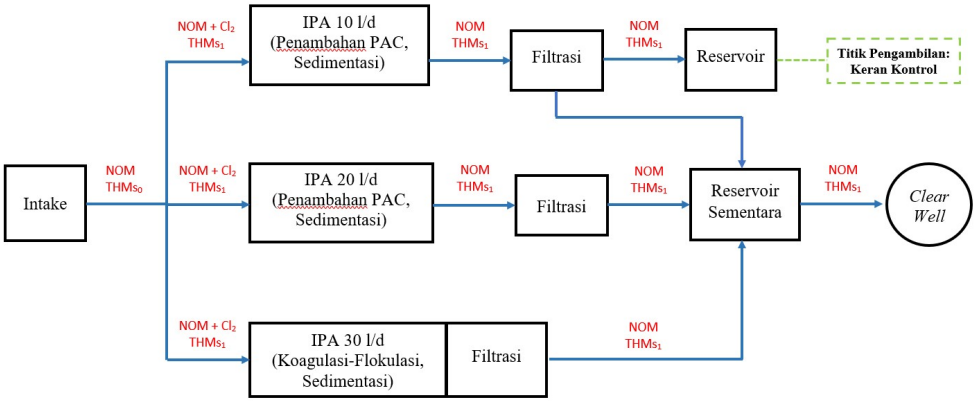
Gambar 4. 1 Diagram Instalasi Pengolahan Air Progo

IPA Progo memiliki kapasitas produksi mencapai 40 liter/detik yang terdiri dari 5 unit proses fisika-kimia, yaitu koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi (klorinasi). Pengolahan air diawali dengan pembubuhan koagulan alum (koagulasi) pada pipa *intake* air dan diteruskan menuju proses

pembentukan flok (flokulasi) yang terbagi menjadi 6 kompartemen pengadukan hidrolis. Proses dilanjutkan dengan pengendapan flok pada bak sedimentasi yang dimodifikasi dengan "sarang lebah". Air yang telah tersisihkan dari permukaan bak sedimentasi dibagi ke dalam 4 bak filtrasi untuk proses penyaringan menggunakan media pasir silika. Proses diakhiri dengan injeksi kaporit yang telah dilarutkan pada pipa induk akhir IPA menuju reservoir dengan dosis tertentu. Titik pengambilan sampel air *post-filtration* IPA Progo terletak pada keran *backwash* bak filtrasi ke-4.

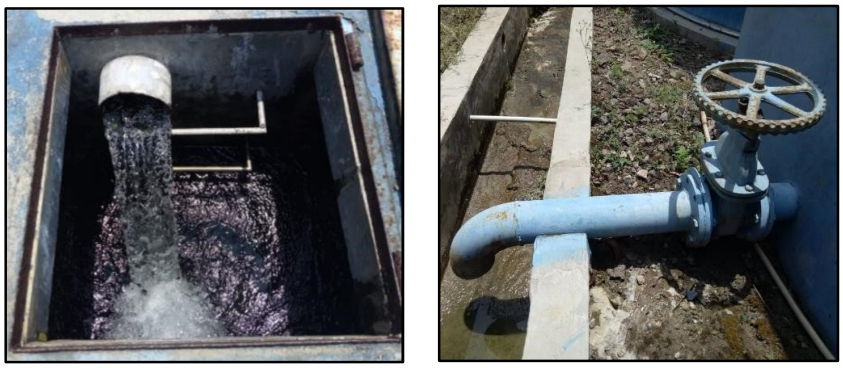
4.1.2 Instalasi Pengolahan Air Sermo

IPA Sermo berada di kecamatan Kokap dan melayani lebih dari 3.000 pelanggan di Kulon Progo. Aktivitas masyarakat di lingkungan waduk diantaranya seperti rumah makan, wisma, dan beberapa tempat tinggal penduduk sekitar namun tidak padat. Meski begitu, sebagai kawasan lingkungan yang dijaga kelestariannya, pemerintah setempat cukup membatasi keberadaan aktivitas masyarakat di sekitar waduk, sehingga waduk yang dikelilingi perbukitan tersebut masih terlihat hijau dan asri dengan vegetasi yang tumbuh disekelilingnya. IPA Sermo dipilih sebagai titik pengambilan sampel air atas kondisi IPA yang memenuhi kebutuhan penelitian, kemudahan akses menuju IPA dan kelengkapan unit proses yang digunakan.



Gambar 4. 2 Diagram Instalasi Pengolahan Air Sermo

Secara keseluruhan, Unit Waduk Sermo mengolah air dengan kapasitas mencapai 60 L/detik yang terbagi menjadi 3 IPA dengan bentuk pengolahan dan kapasitas yang berbeda, yaitu 30 liter/detik, 20 liter/detik, dan 10 liter/detik (Gambar 4.2). Air sampel *post-filtration* diambil dari IPA 10 l/detik. Bangunan *intake* IPA Sermo menggunakan jenis poton agar dapat mengikuti ketinggian muka air waduk dengan kedalaman pipa mencapai 3 meter. Proses pengolahan IPA 10 L/detik diawali dengan preklorinasi dan penambahan koagulan yang diinjeksikan pada pipa *intake* dengan disinfektan berupa kaporit dan koagulan PAC yang dilarutkan, kemudian air diteruskan menuju bak sedimentasi berbentuk lingkaran dan mengkerucut pada dasarnya, sedangkan proses filtrasi dilakukan secara tertutup dengan media pasir silika.



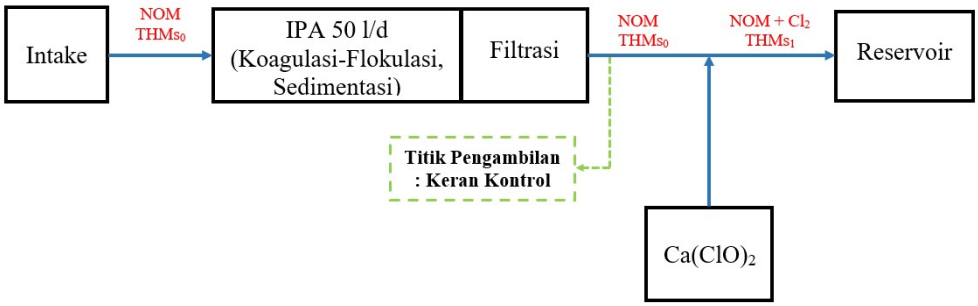
(a) Ujung Akhir IPA 10 l/det (b) Pipa Kontrol Reservoil IPA 10 l/det.

Gambar 4. 3 Titik Pengambilan Sampel Air Sermo

Titik pengambilan sampel air *post-filtration* mengalami perpindahan beberapa kali akibat perubahan jalur pengaliran air antar unit pengolahan pada ketiga IPA. Pada sampling priode 1 dan 2, sampel air diambil dari ujung akhir pipa IPA 10 l/detik yang berada berada di bak reservoir IPA 20 l/detik sebelum air IPA 10 l/detik bercampur dengan air IPA 20 l/detik (Gambar 4.3 [a]). Pada sampling periode 3 – 7 titik pengambilan sampel air berada di pipa kontrol bak reservoir 10 l/detik (Gambar 4.3 [b]). Kemudian pada sampling periode 8 dan 9, titik pengambilan sampel kembali pada ujung akhir pipa IPA 10 l/detik di reservoir IPA 20 l/detik, sebelum air dari kedua IPA bercampur (Gambar 4.3 [a]).

4.1.3 Instalasi Pengolahan Air Sendang Sari

Unit Sendang Sari berlokasi di kecamatan Pengasih. Berbeda dengan kedua unit sebelumnya, Unit Sendang Sari berada di Kawasan yang lebih padat dengan pemukiman penduduk dan aktivitas masyarakat. Mata air berada di kaki perbukitan dan berada disatu lokasi dengan pemandian Mata Air Clereng. Aktivitas masyarakat didominasi oleh aktivitas domestik serta ditemukan pertanian dekat dengan mata air adalah yang berjarak 250 m – 400 m dari mata air.



Gambar 4. 4 Diagram Instalasi Pengolahan Air Sendang Sari

IPA beroperasi dengan kapasitas olahan 50 liter/detik untuk melayani lebih dari 500 pelanggan yang meliputi kecamatan Pengasih. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.4, IPA Paket Unit Sendang Sari yang terdiri dari pengolahan koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi, namun hanya dioperasikan pada musim penghujan, dimana air dari mata air Clereng menjadi cukup keruh dan tertampung dalam jumlah yang banyak. Pada musim kemarau/bukan penghujan, IPA akan berhenti beroperasi sehingga air dari mata air Clereng akan diteruskan menuju proses klorinasi kemudian langsung di distribusikan pada konsumen. Bangunan *intake* PDAM menggunakan *broun captering* dan terbagi menjadi 2 pipa induk, pipa untuk pengolahan air minum dan pipa untuk produksi AMDK.

(a) Selang PAC (b) Selang Klorin (c) Keran Rumah Kimia

Gambar 4. 5 Titik Pengambilan Sampel Air IPA Sendang Sari

Akibat proses pengolahan air yang bersifat opsional terhadap musim, letak titik pengambilan sampel air *post-filtration* di Unit Sendang Sari juga mengalami perpindahan beberapa kali. Pada periode sampling 1 sampel air diambil dari selang air dari bak pencampuran koagulan PAC (Gambar 4.5 [a]). Pada periode sampling 2-4 sampel air diambil dari selang air bak pencampuran klorin (Gambar 4.5 [b]). Pada periode sampling 5-9 sampel air diambil dari keran air rumah kimia (Gambar 4.5 [c]) yang membawa air dari intake dan melewati IPA, terlepas dari status operasi dan tidak beroperasinya IPA.

4.2 Pengambilan dan Pengujian Sampel Air

Pada tahap pengambilan sampel air, keran dibuka dan ditunggu beberapa saat hingga suhu dan kekeruhan air stabil, kemudian botol kaca gelap berukuran 2,5 L yang telah dibilas dengan larutan HNO_3 10% sebelumnya, terlebih dahulu dibilas dengan air sampel sebelum botol diisi penuh hingga tidak terdapat ruang udara dengan sampel air. Pengisian sampel dilakukan pada debit rendah dengan melewatkan sampel pada dinding botol untuk meminimalisir terjadinya turbulensi. Botol disimpan dalam *icebox* untuk mengurangi guncangan selama perjalanan pengangkutan sampel. Sampel kemudian disimpan pada lemari pendingin pada suhu 4°C.

Sebelum memulai pengujian parameter NOM, sampel dibagi menjadi 2 jenis sampel, yaitu *bulk sample*, dimana tidak ada perlakuan/preparasi sebelum pengujian parameter dan *dissolved sample*, dimana sampel mengalami penyaringan sebelum diuji parameter NOM. Penyaringan menggunakan Whatman *cellulose nitrate membrane filter (white plain)* dengan diameter 47 mm dan ukuran pori 0,45 µm (Thurman, 1985). Proses penyaringan dipercepat dengan bentuan alat *buchner* peruntukan air bersih. Selain itu, pengujian NOM terhadap sampel juga dilakukan dengan meminimalisir turbulensi dan peningkatan oksigen dalam air dengan menginteraksikan antar sampel/larutan melalui dinding wadah. Usaha meminimalisir intensitas cahaya yang masuk ke dalam sampel dilakukan dengan mengurangi intensitas lampu ruangan pengujian dan/atau melapisi wadah sampel yang berbahan tidak gelap dengan alumunium foil.

Waktu pengambilan dan pengujian sampel air dimulai sejak bulan Mei 2018 hingga Agustus 2018.

Tabel 4. 1 Waktu Pengambilan Sampel Air *Post-Filtration*

Periode Ke-	Tanggal	Sampel	Waktu (WIB)
1	2 Mei 2018	PF SP	10.00
		PF WS	10.30
		PF C	12.15
2	9 Mei 2018	PF SP	09.05
		PF WS	10.18
		PF C	10.57
3	16 Mei 2018	PF SP	08.55
		PF WS	09.50
		PF C	10.35
4	22 Mei 2018	PF SP	09.14
		PF WS	10.05
		PF C	11.03
5	30 Mei 2018	PF SP	09.10
		PF WS	10.05
		PF C	11.05
6	7 Agustus 2018	PF SP	09.50
		PF WS	10.50
		PF C	12.10
7	9 Agustus 2018	PF SP	09.30
		PF WS	11.13
		PF C	12.33
8	13 Agustus 2018	PF SP	09.02
		PF WS	10.14
		PF C	11.49
9	15 Agustus 2018	PF SP	09.15
		PF WS	10.10
		PF C	11.52

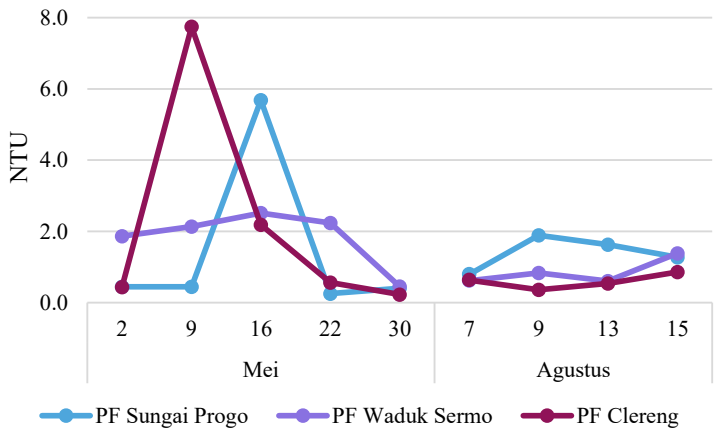
**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

4.3 Karakteristik Fisik, Kimia & Organik

Karakteristik fisik, kimia dan organik air meliputi analisa parameter lapangan (kekeruhan, pH, DHL, suhu) dan parameter organik (COD, $KMnO_4$, UV_{254}, $UV_{3/4}$) pada sampel.

4.3.1 Kekeruhan

Kekeruhan pada perairan tergenang seperti danau banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi berupa koloid dan partikel-partikel halus, sedangkan pada sungai lebih banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi yang berukuran lebih besar (Effendi, 2003). Kekeruhan air umumnya berasal dari sedimen, erosi tanah, alga, dan aktivitas manusia seperti pertanian dan kegiatan pengembangan lainnya (MPCA, 2008). Diantara ketiga jenis sampel, IPA Progo dan IPA Sendang Sari berada pada lokasi yang lebih padat penduduk, seperti pertanian, dan tempat tinggal. Tak lepas dari kondisi sumber, hal ini yang mungkin turut mempengaruhi kekeruhan air pada IPA.



Gambar 4. 6 Grafik Kekeruhan Sampel Air *Post-Filtration*

Berdasarkan grafik perbandingan kekeruhan pada Gambar 4.6, terdapat perubahan kecenderungan kekeruhan sampel antara periode Mei dengan periode Agustus. Kekeruhan menjadi cenderung lebih rendah pada periode Agustus. Besar kemungkinan bahwa hal ini terjadi akibat pengaruh musim, dimana ketiga sumber air pada Periode Agustus menjadi jauh lebih kering dibanding periode Mei.

Pada musim hujan, badan air akan menerima limpasan air hujan dari daratan, yang tidak jarang juga membawa beragam partikel padatan tersuspensi. Hal yang sama tidak terjadi pada musim kemarau. Selain itu, perairan dengan arus yang kencang mengakibatkan partikel suspensi dalam air tidak mudah mengendap

dan cenderung terbawa arus. Ketika musim kemarau arus berlangsung lambat, sehingga partikel suspensi air menjadi mudah mengendap pada dasar badan air. Pada saat muka air menurun dan dekat dengan dasar badan air, sedimen dan partikel tersuspensi di dasar sungai menjadi mudah tercampur dengan badan air dan ikut terserap ketika dilakukan pengambilan sumber air. Sedikitnya air limpasan yang masuk ke badan air pada musim kemarau menjadikan komposisi partikel air menjadi sederhana dan tidak se-kompleks pada saat musim hujan, dimana partikel kemudian didominasi oleh sedimen pada permukaan bawah badan air. Ukuran padatan tersuspensi dalam air tersebut yang kemudian turut mempengaruhi efisiensi unit koagulasi-flokulasi, sedimentasi dan filtrasi (Masduqi & Assomadi, 2012).

Tabel 4. 2 Rerata Kekeruhan Sampel Air *Post-Filtration*

	Kekeruhan (NTU)		
	PF WS	PF SP	PF C
Tertinggi	2,58	6,04	7,78
Terendah	0,41	0,24	0,21
Rerata	**1,41**	**1,43**	**1,51**

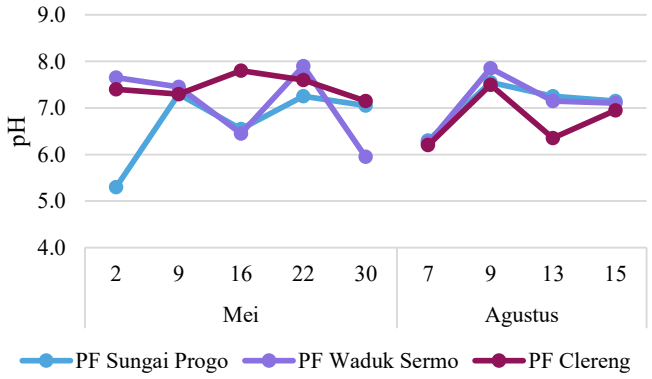
**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Apabila melihat nilai rerata dari setiap titik sampel (Tabel 4.3), air *post-filtration* IPA Sendang Sari memiliki titik kekeruhan paling tinggi namun juga memiliki titik kekeruhan paling rendah. Selain musim dan kondisi sumber, kekeruhan air *post-filtration* juga tidak lepas dari pengaruh unit pengolahan airnya. Seperti diketahui bahwa ketiga IPA memiliki bentuk pengolahan air yang berbeda, sehingga hal tersebut ikut mempengaruhi efektifitas penurunan kekeruhan dari sumber. Pada IPA Sendang Sari, IPA tidak dioperasikan selama periode pengambilan sampel, sehingga tinggi rendahnya kekeruhan dapat terjadi akibat pengaruh utilitas distribusi air. Fluktuasi tingkat kekeruhan IPA Sendang Sari juga dimungkinkan terjadi akibat pergantian titik pengambilan sampel air beberapa kali selama periode pengambilan sampel.

Terkait keberadaan NOM, zat organik dalam air dapat ditemukan dalam 13 bentuk yang berbeda, salah satunya SOC (*Suspended Organic Carbon*) dan COM (*Colloidal Organic Matter*) namun kedua bentuk tersebut memiliki prosestase yang sangat rendah dibandingkan bentuk NOM yang lainnya (Thurman, 1985). Kekeruhan menitikberatkan pengukuran berdasarkan koloid yang terkandung di dalamnya, sedangkan zat organik dalam air yang berwujud koloid berada pada konsentrasi yang sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa kekeruhan tidak memiliki fungsi yang sangat kuat sebagai parameter zat organik, namun dapat berpotensi untuk turut mengindikasikan keberadaan zat organik dalam air.

4.3.2 Derajat Keasaman (pH)

Nilai derajat keasaman dari ketiga jenis air *post-filtration* mayoritas tergolong netral dengan perubahan yang tidak signifikan. Melihat kecenderungan selama pengambilan sampel, tidak ada perubahan pH yang signifikan pada masing-masing sumber, utamanya akibat pergantian musim. Sampel air pada masing-masing IPA selalu berada pada rentang pH 6 hingga pH 8. Angka tersebut masih berada pada rentang umum derajat keasaman pada perairan tawar.



Gambar 4. 7 Grafik pH Sampel Air *Post-Filtration*

Pada periode Mei pengambilan sampel (Gambar 4.7), IPA Progo mencapai pH terendah yaitu 5,3 sedangkan IPA Sermo pada pH 5,9. Rendahnya nilai pH pada kedua periode ini mungkin terjadi akibat tingginya dosis koagulan *polyaluminium chloride* (PAC) yang digunakan, dimana tingginya dosis PAC

dalam air dapat menurunkan pH meskipun tidak secara signifikan (Rifa'i, 2007). Hal ini disebabkan semakin tinggi kadar PAC yang ditambahkan, semakin banyak pula ion H^+ yang dilepaskan ke dalam air (Budiman, et al., 2008).

Tabel 4. 3 Rerata pH Sampel Air *Post-Filtration*

	pH		
	PF WS	PF SP	PF C
Tertinggi	7,9	7,6	7,8
Terendah	5,9	5,3	6,2
Rerata	**7,08**	**6,86**	**7,14**

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Berdasarkan nilai rerata pada Tabel 4.4, ketiga sampel memiliki nilai pH yang masih berada pada rentang normal, yaitu 6,5 – 8,5. Tidak adanya proses pengolahan air di IPA Sendang Sari, menyebabkan kondisi pH pada IPA menjadi sangat bengantung pada kondisi sumber airnya. Tingkat pH pada air tanah umumnya dipengaruhi oleh jenis tanah dan batuan yang terdapat disekitarnya, dimana dalam ketiadaan mineral sulfida besi, pH air tanah biasanya berkisar 6,0 hingga 8,5 (Fisher, 2002). Mata air Clereng berada di kecamatan Pengasih yang secara geologi memiliki jenis tanah latosol (Kulon Progo Regency, 2005). Karakteristik tanah yang cenderung mengandung senyawa basa, mungkin menjadi penyebab keunggulan pH sampel IPA Sendang Sari dari dua sumber lainnya. Meski begitu, nilai pH air *post-filtration* IPA Sendang Sari masih berada pada rentang pH perairan yang diperbolehkan untuk kehidupan biota perairan (Effendi, 2003).

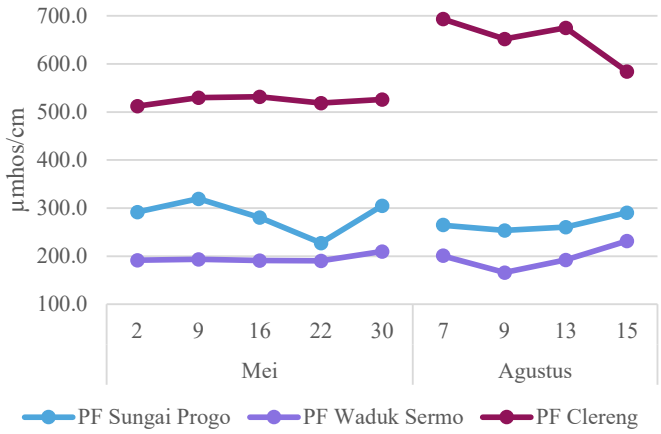
Menurut Hefni (2003), ion hidrogen bersifat asam dan pengukuran pH air digambarkan oleh keberadaan ion hidrogen (H^+) bebas yang terkandung dalam air. Sedangkan zat organik merupakan kumpulan senyawa yang pada dasarnya mengandung ion-ion atau unsur organik alam seperti karbon, nitrogen, sulfur, hidrogen, dan fosfor. Hal ini menunjukkan bahwa nilai derajat keasaman (pH) tidak dapat mengindikasikan keberadaan senyawa organik secara langsung,

namun kondisi pH air dapat mempengaruhi reaksi kimia, toksisitas senyawa, dan proses biokimia dalam air (Effendi, 2003).

4.3.3 Daya Hantar Listrik/Konduktivitas

Konduktivitas air, sebagai indikator kemampuan air dalam menghantarkan listrik, umumnya dipengaruhi oleh kadar garam dan mineral, bahwasanya juga ditemukan adanya korelasi positif antara DHL dengan tingginya kadar nutrien dalam air (Zainuddin, 2013). Air suling atau aquades umumnya memiliki konduktivitas pada rentang 0,5 µmhos/cm – 3 µmhos/cm (APHA, 1976), sedangkan Boyd (1988) dalam Hefni (2003) mengungkapkan bahwa DHL pada perairan alami bernilai pada rentang 20 µmhos/cm – 1500 µmhos/cm. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga sumber masih masuk ke dalam rentang konduktivitas perairan alami pada umumnya.

Sebagian besar larutan dari senyawa anorganik merupakan konduktor yang baik, sebaliknya, molekul dari senyawa organik yang tidak mengalami disosiasi (proses terpecahnya senyawa ionik menjadi ion, atom, atau radikal menjadi lebih kecil) pada larutan merupakan konduktor yang buruk (APHA, 1976). Terkait hal tersebut, *United States Environmental Protection Agency* kembali menuturkan bahwa nilai DHL dalam air dipengaruhi oleh keberadaan partikel terlarut anorganik baik anion seperti klorida, nitrat, sulfat dan fosfat, maupun kation seperti sodium, magnesium, kalsium, besi, dan alumunium. Sementara senyawa organik seperti minyak, fenol, alkohol, dan gula tidak dapat menghantarkan listrik dengan baik ketika berada di air. DHL juga dipengaruhi oleh suhu, dimana nilai DHL akan meningkat seiring dengan tingginya suhu air (USEPA, 2012).



Gambar 4. 8 Grafik Konduktivitas Sampel Air *Post-Filtration*

Gambar 4.8 menunjukkan grafik nilai DHL selama periode pengambilan sampel air. Tidak ada perubahan signifikan antara periode Mei dan periode Agustus, kecuali peningkatan yang terjadi pada IPA Sendang Sari. Terkait sampel merupakan air *post-filtration* dan tidak langsung berasal dari sumber, tinggi rendahnya nilai DHL dapat disebabkan oleh kondisi sumber ataupun pengolahan/distribusi IPA. Namun, berdasarkan unit pengolahan yang digunakan, tidak ada unit pada IPA yang dapat menimbulkan interaksi mineral dan garam-garam utama yang mempengaruhi konduktivitas seperti kalsium, klorida, karbonat, magnesium, dan sodium (APHA, 1976), sehingga keberadaan IPA diperkirakan tidak dapat mempengaruhi konduktivitas sampel air dari sumber. Berdasarkan grafik konduktivitas selama periode pengambilan sampel, Perubahan musim tidak banyak memberikan pengaruh, terkecuali pada IPA Sendang Sari yang mengalami peningkatan pada periode Agustus.

Tabel 4. 4 Rerata Konduktivitas Sampel Air *Post-Filtration*

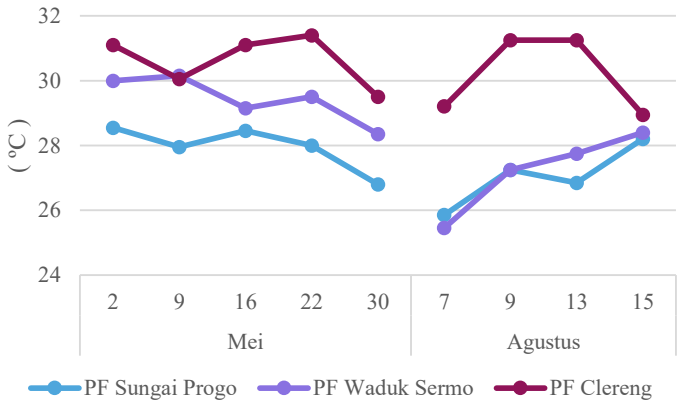
	Konduktivitas (µmhos/cm)		
	PF WS	PF SP	PF C
Tertinggi	233,0	320,0	693,0
Terendah	165,0	227,0	511,0
Rerata	**196,3**	**227,1**	**580,2**

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Nilai rerata ketiga titik sampel (Tabel 4.5) juga menunjukkan dominansi konduktivitas IPA Clereng dari dua sumber lainnya. Tingginya nilai DHL pada mata air dapat disebabkan oleh paparan batu yang berkontribusi terhadap ion dalam waktu cukup lama (PASCO, 2010). Mata Air Clereng diketahui memiliki fasies (karakter partikel & kimia tanah) Kalsium Alkali Bikarbonat yang menunjukkan bahwa sumber air tanah berasal dari air tanah yang melewati satuan litologi andesit dan breksi andesit sebagai ion alkali, serta litologi batugamping pasiran sebagai sumber ion kalsium dan bikarbonatnya (Mardianto, 2018). Boy-Roura (2013) juga mengungkapkan bahwa pada musim dengan curah hujan yang kecil, proses infiltrasi air tanah dari permukaan akan terjadi pada jumlah dan debit yang kecil. Hal tersebut mengakibatkan interaksi antara air dan tanah batuan akan berlangsung lebih lama dan dalam tingkat pengenceran yang terbatas. Karakteristik tanah dan lamanya interaksi air dengan tanah batuan menjadi dua faktor utama penyebab tingginya nilai konduktivitas sampel IPA Sendang Sari.

4.3.4 Suhu

Perubahan suhu pada air berlangsung lambat sehingga air mampu menyimpan panas dengan sangat baik, sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas ataupun dingin dalam seketika. Meskipun begitu, kondisi musim, waktu dalam hari, sirkulasi udara, aliran, dan kedalaman badan air diketahui sebagai faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya suhu air (Effendi, 2003). Suhu air yang tinggi pada air permukaan dapat disebabkan oleh banyaknya intensitas sinar matahari yang masuk ke badan air dimana lokasi pengambilan sampel merupakan daerah terbuka serta kerapatan vegetasi di sekitar sumber yang juga mempengaruhi suhu air. Semakin banyak intensitas sinar matahari yang mengenai badan air maka akan membuat suhu air semakin tinggi (Marlina, et al., 2017). Suhu tidak dapat mempengaruhi keberadaan NOM secara langsung, namun penguraian senyawa organik sebagai asupan metabolisme biota air akan semakin meningkat seiring peningkatan suhu perairannya (Penru, et al., 2011).



Gambar 4. 9 Grafik Suhu Sampel Air *Post-Filtration*

Berdasarkan kecederungan data (Gambar 4.9) selama periode pengambilan sampel, suhu air ketiga IPA mengalami penurunan pada awal periode Agustus, namun pada IPA Sendang Sari penurunan suhu tidak berlangsung lama. Suhu air yang menurun khususnya pada periode awal Agustus, nampaknya tidak lepas dari pengaruh rendahnya suhu udara di musim kemarau. Pada musim kemarau di Indonesia, angin yang bertiup dari Benua Australia melewati laut-laut yang sempit sehingga mengandung uap air dalam jumlah yang sedikit (Yudianto, 2012). Sebagai gas rumah kaca yang menyerap panas, kecilnya konsentrasi uap air di udara menyebabkan suhu udara menjadi rendah (Ambarsari, 2010), yang kemudian diikuti dengan penurunan suhu elemen lingkungan lainnya seperti air dan tanah.

Tabel 4. 5 Rerata Suhu Sampel Air *Post-Filtration*

	Suhu (ºC)		
	PF WS	PF SP	PF C
Tertinggi	30,0	28,5	31,6
Terendah	25,3	25,8	28,8
Rerata	**28,4**	**27,5**	**30,4**

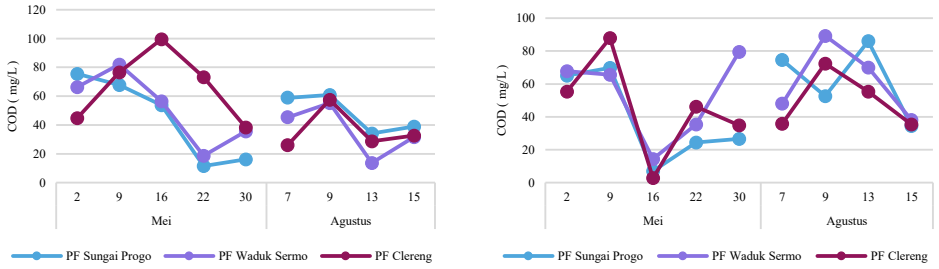
**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Berdasarkan hasil rerata (Tabel 4.6), ketiga sampel IPA menunjukkan suhu air yang relatif tinggi namun masih berada pada rentang suhu normal

perairan untuk kehidupan biota air. Suhu tertinggi terdapat pada sampel IPA Sendang Sari (Mata Air Clereng). Tingginya suhu pada air *post-filtration* IPA Sendang Sari mungkin terjadi akibat sarana utilitas pengangkut dan distribusi air dari *intake* memiliki jalur yang terbuka terhadap paparan sinar matahari. Selain itu, berdasarkan waktu pengambilan sampel air, pengambilan sampel *post-filtration* IPA Sendang Sari dilakukan pada siang hari dimana intensitas radiasi pada siang hari lebih besar dibandingkan pada pagi hari dan sore hari (Mawardi & Sudaryono, 2008). Berbeda dengan IPA Sermo dan IPA Progo, dimana IPA yang digunakan cenderung tertutup dan beratap serta terbatas dari paparan sinar matahari, sehingga suhu sampel air keduanya cenderung lebih rendah.

4.3.5 *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD merepresentasikan jumlah oksigen yang dibutuhkan oksidator kalium dikromat untuk mengoksidasi hampir seluruh materi di dalam air baik bahan organik, anorganik, *biodegradable*, maupun *nonbiodegradable*. Meski begitu, pada perairan alami sebagian besar dari bahan yang teroksidasi oleh COD adalah organik (Thurman, 1985). Filella (2008) mengkategorikan COD sebagai salah satu representator dari NOM yang memiliki sifat labilitas.



(a) *Bulk* (b) *Dissolved*

Gambar 4. 10 Grafik COD Sampel Air *Post-Filtration*

Berdasarkan Gambar 4.10 konsentrasi COD selama periode pengambilan sampel, baik IPA Progo, IPA Sermo mapun IPA Sendang Sari memiliki kadar COD *bulk* dan *dissolved* yang fluktuatif dan cenderung tidak seragam. Melihat kecenderungan yang terbentuk dari Mei ke Agustus, COD *bulk* cenderung

mengalami penurunan, sedang COD *dissolved* cenderung mengalami peningkatan pada masing-masing IPA. Guna menganalisis perubahan ini perlu dikaitkan dengan kondisi saat pengujian lapangan sampel air.

Apabila dikaitkan pada kondisi lapangan fisik-kimia air, sampel IPA Sendang Sari memiliki nilai kekeruhan, konduktivitas, pH, dan suhu yang paling tinggi dari dua jenis sumber lainnya. Tingginya konduktivitas mengindikasikan tingginya konsentrasi garam dan mineral anorganik yang mungkin ikut teroksidasi oleh oksidator kalium dikromat. Namun, hal tersebut tidak didukung oleh hasil pengujian COD sampel *bulk* yang menunjukkan penurunan pada periode Agustus ketika nilai DHL pada periode yang sama justru meningkat.

Pola yang sama justru ditunjukkan oleh konsentrasi COD sampel *dissolved* yang ikut mengalami pengingkatan pada saat suhu dan nilai konduktivitas meningkat. Hal ini tidak terlepas dari fakta bahwa DHL dan COD sampel *dissolved* berfokus pada objek yang sama, yaitu *dissolved matter* (partikel terlarut) baik itu senyawa organik maupun anorganik. Dalam hal ini, Roosmini juga menemukan adanya korelasi yang kuat antara COD dengan nilai DHL dalam air (Roosmini, et al., 2018). Sebagaimana pH mempengaruhi reaksi kimia dalam air, kesamaan pola juga terlihat pada nilai pH dengan COD sampel *bulk*, dimana penurunan dan peningkatan derajat keasaman pada bulan Agustus diikuti dengan fluktuasi yang sama pada konsentrasi COD sampel *bulk*.

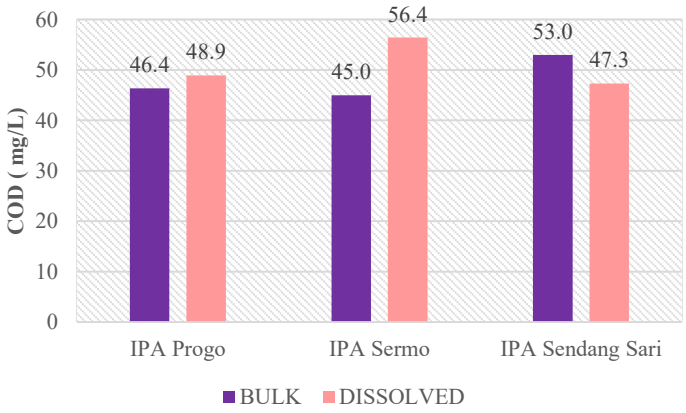
Tabel 4. 6 Rerata COD Sampel Air *Post-Filtration*

mg/L	COD *Bulk*			COD *Dissolved*		
	PF WS	PF SP	PF C	PF WS	PF SP	PF C
Tertinggi	88,513	85,062	99,962	97,886	86,877	98,071
Terendah	13,376	9,493	22,425	4,331	4,482	0,753
Rerata	**44,960**	**46,380**	**53,000**	**56,421**	**48,935**	**47,319**

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Berdasarkan hasil rerata (Tabel 4.7), konsentrasi COD sampel *bulk* paling tinggi terdapat pada IPA Sendang Sari (Clereng) dan paling rendah terdapat pada

IPA Sermo (Waduk Sermo). Sebaliknya, konsentrasi COD sampel *dissolved* paling tinggi terdapat pada IPA Sermo dan konsentrasi paling rendah terdapat pada IPA Sendang Sari. Berbeda dengan COD *bulk*, Thurman (1985) dalam bukunya menuliskan bahwa umumnya bahan organik pada danau/waduk (eutropis) memiliki konsentrasi lebih tinggi dibanding sungai dan mata air. Meskipun begitu, setiap sampel telah mengalami pengolahan air secara fisik-kimia (kecuali IPA Sendang Sari) yang mungkin turut mempengaruhi konsentrasi NOM dalam air, salah satunya koagulasi (Sillanpää, et al., 2017). Meskipun begitu, ketiga sampel menunjukkan konsentrasi COD yang melebihi standar yang diperbolehkan (10 mg/L). Hal ini mengindikasikan adanya kemungkinan bahwa sampel air (tercemar) mengandung bahan organik dalam jumlah tinggi.

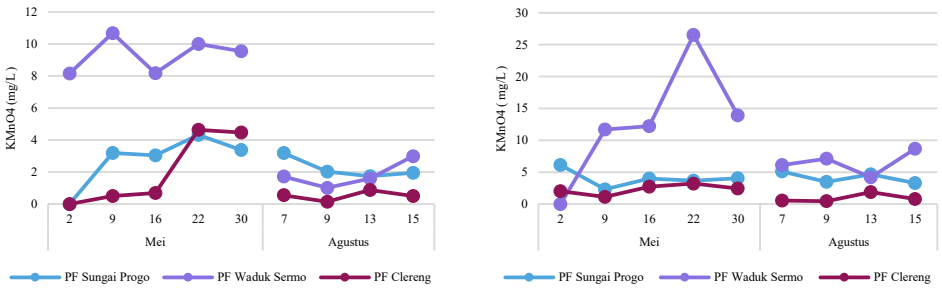


Gambar 4. 11 Perbandingan *Bulk* dan *Dissolved* COD Air *Post-Filtration*

Secara keseluruhan, ketiga sampel IPA memiliki *dissolved matter* yang lebih mendominasi pada *bulk matter* atau dalam hal ini lebih tinggi dari *particulate matter*, meskipun tidak menimbulkan perbedaan yang signifikan. Sebagaimana yang diungkapkan Thurman (1985), bahwa organik terlarut umumnya selalu lebih dominan dari organik partikel. Salgado (2006) dalam penelitiannya juga mengungkapkan bahwa konsumsi oksigen senyawa organik terlarut *(dissolved organic matter)* diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa organik yang berupa partikel *(particulate organic matter)*.

4.3.6 Kalium Permanganat ($KMnO_4$)

Kalium permanganat digunakan untuk merepresentasikan bahan organik dengan prinsip kerja yang serupa dengan oksidator kalium dikromat pada COD, sehingga hasil pengujiannya menunjukkan jumlah bahan organik yang dapat dioksidasi oleh $KMnO_4$ dan asam sulfat (H_2SO_4). Nilai permanganat juga sering disebut dengan TOM *(Total Organic Matter)* (Effendi, 2003). Meskipun memiliki prinsip yang sama, nilai permanganat pada sampel menunjukkan konsentrasi yang jauh lebih kecil, sehingga hal tersebut mengindikasikan bahwa zat yang teroksidasi kemungkinan lebih spesifik. Sebagaimana dijabarkan oleh Libretexts bahwa kalium permanganat dapat mengoksidasi atom kabon ketika ikatannya cukup lemah, termasuk diantaranya alkena, alkynes, alkohol, aldehid, beberapa senyawa dengan cincin aromatik, dan beberapa senyawa dengan gugus C – C (Libretexts, 2015). Meskipun begitu, belum dapat diketahui secara pasti jenis fraksi NOM apa yang teroksidasi oleh $KMnO_4$ pada umumnya.



(a) *Bulk* (b) *Dissolved*

Gambar 4. 12 Grafik Nilai Permanganat Sampel Air *Post-Filtration*

Apabila melihat kecenderungan konsentrasi sampel (Gambar 4.12), terjadi penurunan yang cukup signifikan dari periode Mei ke periode Agustus. Diketahui bahwa Agustus menjadi bulan dengan cuaca paling kering di lokasi penelitian, terlihat dari penyusutan volume air pada ketiga sumber air objek penelitian, serta beberapa vegetasi yang cenderung layu. Hal tersebut yang mungkin menjadi faktor penyebab penurunan konsentrasi organik nilai permanganat pada bulan Agustus, dimana iklim dan vegetasi pada lokasi penelitian dapat turut

mengendalikan jumlah dan karakteristik bahan organik dalam sumber air terutama *dissolved organic* (Thurman, 1985).

Tabel 4. 7 Rerata Nilai Permanganat Sample Air *Post-Filtration*

mg/L	$KMnO_4$ *Bulk*			$KMnO_4$ *Dissolved*		
	PF WS	PF SP	PF C	PF WS	PF SP	PF C
Tertinggi	12,441	4,949	6,210	28,581	7,156	3,374
Terendah	0,582	0,661	0,292	0,109	1,566	0,292
Rerata	**5,985**	**2,574**	**1,373**	**10,053**	**4,075**	**1,690**

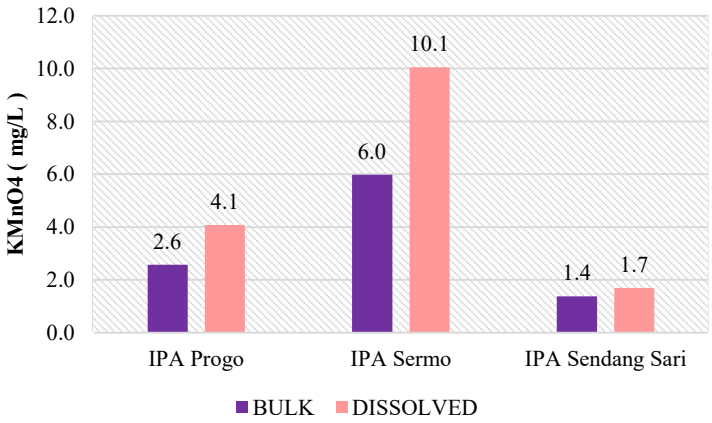
**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Berdasarkan Tabel 4.8 terlihat adanya keseragaman antara nilai permanganat *bulk* dan *dissolved* dimana keduanya menunjukkan konsentrasi tertinggi terdapat pada IPA Sermo, kemudian IPA Progo, dan terendah pada IPA Sendang Sari. Hasil ini turut menunjukkan bahwa waduk mengandung bahan organik yang lebih tinggi dari sungai dan mata air. Jenis peraian permukaan seperti danau, sungai dan mata air, umumnya mengandung NOM yang berasal dari dekomposisi bahan organik tanah *(allochthonous)*, organik yang terbentuk dari aktivitas dalam air itu sendiri *(autochthonous)*, serta senyawa organik yang terbentuk sebagai hasil dari aktivitas manusia (Filella, 2008).

Terkait kondisi sumber air, Waduk Sermo berada di kawasan yang masih asri, dikelilingi oleh beragam tutupan vegetasi serta cukup jauh dari pemukiman penduduk yang padat. Tidak adanya aliran atau perpindahan air memberikan waktu tinggal yang lama bagi bahan organik di dalamnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa kemungkinan sumber utama NOM pada IPA Sermo adalah dekomposisi bahan organik dari tanah serta hasil aktivitas biota air didalamnya, atau dalam kata lainsumber *allochthonous* dan *autochthonous*.

Apabila dibandingkan dengan Sungai Progo dan Mata Air Clereng, walaupun dikelilingi lingkungan yang asri, keduanya cukup dekat dengan pemukiman penduduk, sehingga terdapat kemungkinan bahwa aktivitas masyarakat turut menjadi sumber NOM pada sumber airnya. Meskipun begitu,

perairan seperti sungai cenderung memiliki aliran air yang memindahkan air dari satu tempat ke tempat lain sehingga NOM dalam air cenderung memiliki waktu tinggal yang singkat. Adapun perairan mata air berada jauh dari permukaan tanah dan NOM yang terkandung di dalamnya memiliki waktu tinggal hingga mencapai hitungan ratusan tahun (Thurman, 1985). Kondisi ini menunjukkan bahwa sumber NOM pada Sungai Progo mungkin didominasi oleh sumber dekomposisi dari tanah atau *allochthonous*, sedangkan Mata Air Clereng cenderung bersumber dari kehidupan air didalamnya atau *autochthonous*.

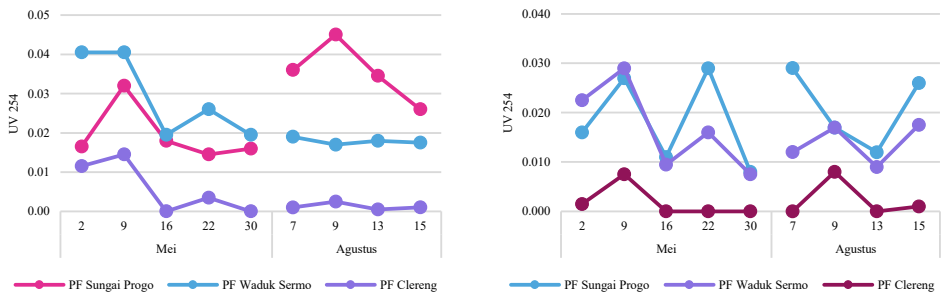


Gambar 4. 13 Perbandingan *Bulk* dan *Dissolved* $KMnO_4$ Air *Post-Filtration*

Secara keseluruhan, Gambar 4.13 menunjukkan bahwa ketiga sampel IPA kembali memiliki kandungan *dissolved matter* yang lebih mendominasi pada *bulk matter* atau dalam hal ini lebih tinggi dari *particulate matter*, dengan perbedaan yang cukup signifikan. Sebagaimana yang diungkapkan Thurman (1985), bahwa organik terlarut umumnya selalu lebih dominan dari organik partikel. Hal serupa terjadi pada penelitian Adamson & Jahn yang menujukkan hasil oksidasi *organic matter* dengan kalium permanganat dan *organic nitrogen* pada *dissolved sample* selalu lebih tinggi dari *particulate sample*-nya (Adamson & Jahn, 1939). Selain itu, dalam penelitian lain seputar oksidasi permanganat terhadap NOM oleh Wilson menyebutkan adanya kemungkinan bagi metode oksidasi bahan organik dengan kalium permanganat untuk merepresentasikan konsentrasi *fulvic acid* (FA) dengan syarat dan dalam kondisi tertentu (Wilson, 1959).

4.3.7 Ultra Violet (UV) 254

Absorbansi sinar UV pada gelombang 254 nm menjadi representator dari bahan organik yang bersifat aromatik (memiliki ikatan tertutup/cincin) (Matilainen, et al., 2011) dan berikatan ganda pada strukturnya (Penru, et al., 2011). Semakin tinggi absorbansi UV_{254} pada sampel, maka semakin besar jumlah kemungkinan keberadaan bahan organik aromatiknya. Baik Matilainen maupun Penru, mengungkapkan bahwa nilai absorbansi UV_{254} sangat dekat dengan konsentrasi organik terlalut termasuk diantaranya *Dissolved Organic Matter* (DOC). Beberapa contoh senyawa organik aromatik adalah benzene, fenol, alcohol, aldehid, anilin, PAH, dan lain sebagainya (Effendi, 2003).



(a) *Bulk* (b) *Dissolved*

Gambar 4. 14 Grafik UV_{254} Sampel Air *Post-Filtration*

Grafik absorbansi selama periode pengambilan sampel (Gambar 4.14) menunjukkan adanya peningkatan absorbansi oleh IPA Progo dan penurunan absorbansi oleh IPA Sermo dan IPA Sendang Sari akibat pergantian musim (Mei-Agustus). Apabila melihat kondisi suhu masing-masing sampel air pada pengujian lapangan, diperoleh kondisi yang berlawanan dimana suhu dari paling tinggi secara berurutan terdapat pada sampel IPA Sendang Sari, IPA Sermo, dan IPA Progo. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu air tertinggi justru mengandung senyawa organik aromatik terendah dibandingkan sumber air lainnya, begitu juga sebaliknya. Terkait pengaruh suhu terhadap reaksi senyawa aromatik, Hiller menyebutkan bahwa mobilitas senyawa organik seperti *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) memiliki mobilitas yang rendah baik di tanah maupun

sedimen pasa suhu yang rendah, namun luas penyerapan PAH dalam tanah akan menurun seiring dengan peningkatan suhu (Hiller, et al., 2008).

Tabel 4. 8 Rerata UV_{254} Sampel Air *Post-Filtration*

	UV_{254} *Bulk*			UV_{254} *Dissolved*		
	PF WS	PF SP	PF C	PF WS	PF SP	PF C
Tertinggi	0,042	0,045	0,015	0,030	0,029	0,008
Terendah	0,016	0,013	0,000	0,007	0,008	0,000
Rerata	**0,024**	**0,027**	**0,004**	**0,016**	**0,019**	**0,002**

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*
**) Shimadzu Pharmaspec UV-1700 UV-Visible Spectrophotometer*

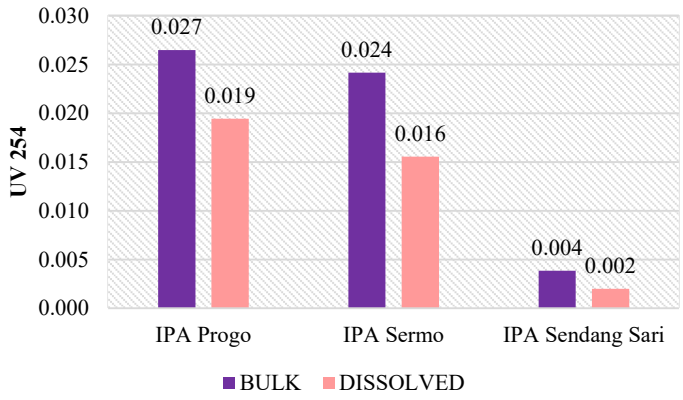
Berdasarkan nilai rerata masing-masing sampel (Tabel 4.9), absorbansi baik *bulk* maupun *dissolved* tertinggi berasal dari IPA Progo dan terendah IPA Sendang dari. Kesamaan hasil pada kedua jenis sampel menunjukkan konsistensi bahwa sampel IPA Progo mengandung bahan organik aromatik lebih tinggi dari sampel IPA Sermo dan IPA Sendang Sari. Holman dalam penelitiannya mengemukakan bahwa senyawa aromatik yang direpresentasikan dengan karbon isotop ($\delta^{13}C$) dapat diklasifikasikan dari tiga jenis sumber, yaitu minyak, sedimen, dan emisi atmosfer. Disamping itu, senyawa aromatik juga dikatakan menjadi unsur penting pada sedimen *organic matter* (OM) (Holman & Grice, 2018).

Dalam hal ini, senyawa aromatik tidak terbentuk dari proses biosintesis (proses yang dikatalisis oleh enzim) oleh organisme, tetapi dari prekursor alami pada proses perubahan diagenesis (perubahan sedimen atau batuan sedimen menjadi batuan sedimen yang berbeda), pembakaran alami, dan emisi antropogenik (Holman & Grice, 2018). Penelitian lain juga menyebutkan bahwa aktivitas pertanian, utamanya yang melibatkan pembakaran biomasa, dapat memicu dan mempengaruhi keberadaan *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) sebagai salah satu senyawa organik aromatik yang terbentuk dari pembakaran tidak sempurna oleh bahan organik dan bahan bakar serta bersifat karsinogenik bagi manusia. PAH yang terbentuk dari pembakaran biomasa dan batu bara

umumnya ditemukan pada kawasan pinggiran kota dan pabrik insinerasi (Liu, et al., 2018).

Belum dapat diketahui secara pasti sumber utama yang menyebabkan tingginya kandungan organik aromatik pada Sungai Progo, sebab dibutuhkan identifikasi lebih lanjut terkait jenis senyawa aromatik yang lebih spesifik untuk mengetahui sumber dan asal mula pembentukannya. Namun, melihat kondisi sumber air Sungai Progo, terdapat kemungkinan bahwa aktivitas pertanian dan pemukiman di sekitar badan sungai menjadi faktor utama penyumbang zat organik aromatik pada Sungai Progo. Terkait hal tersebut, Roosmini mengemukaan kemungkinan yang serupa pada sungai dengan abosrbansi aromatik yang cukup tinggi, disebabkan oleh lingkungan pertanian dan aktivitas domestik sekitar sungai (Roosmini, et al., 2018). Sementara itu, senyawa organik aromatik paling rendah diperoleh pada IPA Sendang Sari (Mata Air Clereng).

Sebagaimana yang diungkapkan Boggs dalam penelitiannya, bahwa NOM mata air dalam bentuk senyawa humus umumnya mengandung lebih banyak organik alifatik dibandingkan dengan organik aromatiknya (Boggs, et al., 1985). Terkait hubungan yang kuat antara UV_{254} dengan DOC (Gora, et al., 2011), terdapat kemungkinan bahwa rendahnya organik aromatik pada sampel IPA Sendang Sari juga disebabkan oleh organik karbon yang berada di mata air telah menjadi sumber makanan bagi mikroba, terserap ke permukaan sebagai karbondioksida, ataupun teroksidasi sebagai sifat alkalinitas air (Thurman, 1985).



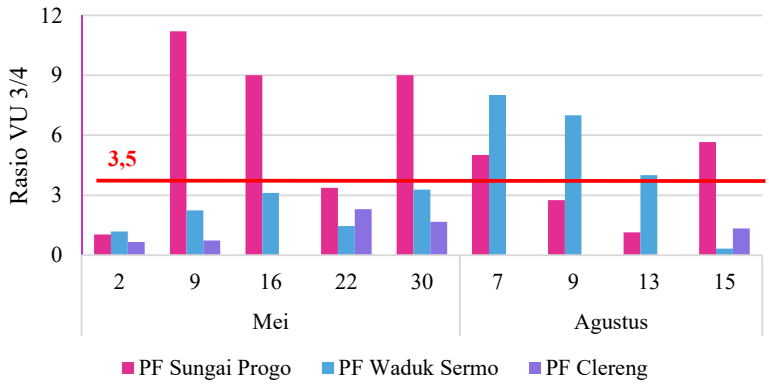
Gambar 4. 15 Perbandingan *Bulk* dan *Dissolved* UV_{254} Air *Post-Filtration*

Selain itu, rerata absorbansi *bulk* dan *dissolved* (Gambar 4.15) juga menunjukkan adanya dominasi *dissolved* terhadap *bulk sample* yang menunjukkan bahwa dalam *total organic* matter (TOM), konsentrasi *dissolved organic matter* (DOM) lebih mendominasi dibandingkan *particulate organic matter* (POM), seperti yang disampaikan Thurman (1985) dalam bukunya. Hal ini tentunya bukan merupakan sebuah kebetulan mengingat hal yang sama juga terjadi pada sampel *bulk* dan *dissolved* uji COD dan $KMnO_4$. Terkait potensinya sebagai prekusor senyawa *disinfection by product* (DBPs), UV_{254} memiliki korelasi yang lemah namun positif secara signifikan dengan pembentukan senyawa DBPs seperti *trihalomethanes* (THM) dan *trihaloacetic acid* (THAA) (Gora, et al., 2011).

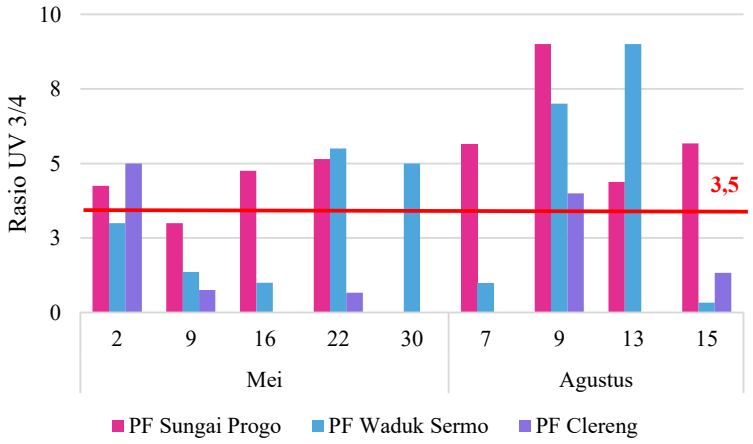
4.3.8 Rasio Ultra Violet (UV) 300 dan UV-*Visible* 400

Artinger (2000) menggunakan rasio absorbansi UV pada gelombang 300 nm dan 400 nm ($UV_{3/4}$ atau A3/A4) terkait karakteristik *humic* dan *fulvic* pada bahan organik, dimana hal yang sama juga telah dilakukan oleh Sururi (2017) dalam penelitiannya. Rasio kurang dari 3,5 dipercaya merepresentasikan dominasi karakter *humic acid* (HA) sedangkan rasio lebih dari 3,5 merepresentasikan dominasi karakter *fulvic acid* (FA) pada sampel. Angka absorbansi pada gelombang 300 nm dan 400 nm pada sampel cenderung lebih rendah dari 254 nm. Hal ini mungkin terjadi akibat panjang gelombang 300 nm dan 400 nm yang sebenarnya cukup jauh dari rentang panjang gelombang yang telah dianggap

sebagai representator senyawa organik, yaitu 220 nm – 280 nm (Matilainen, et al., 2011).



(a) *Bulk*



(b) *Dissolved*

Gambar 4. 16 Grafik $UV_{3/4}$ Sampel Air *Post-Filtration*

Berdasarkan Gambar 4.16, rasio UV_{300} dan UV_{400} menunjukkan angka yang fluktuatif selama periode pengambilan sampel air. Kondisi ini menunjukkan dominasi fraksi HA dan FA pada IPA tidak konsisten pada satu fraksi saja. Namun, setiap IPA menunjukkan adanya kecenderungan terhadap fraksi tertentu. Sebagai contoh, IPA Progo menunjukkan kecenderungan rasio >3,5 yaitu dominasi fraksi asam fulvat (FA) baik pada periode Mei maupun Agustus dalam kedua kondisi *bulk* dan *dissolved*. Sebaliknya, IPA Sendang Sari menunjukkan

karakter organik dengan kecenderungan rasio <3,5 yaitu dominasi fraksi asam humat (HA) baik periode Mei maupun Agustus pada kedua jenis sampel, *bulk* dan *dissolved*. Sementara itu, IPA Sermo justru menunjukkan kecenderungan yang berbeda antara sampel *bulk* dan *dissolved*-nya. Kecenderungan yang konsisten terhadap perbedaan waktu (Mei – Agustus) ini menunjukkan bahwa perubahan musim tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kecenderungan fraksi organik pada sampel air.

Tabel 4. 9 Rerata $UV_{3/4}$ Sampel Air *Post-Filtration*

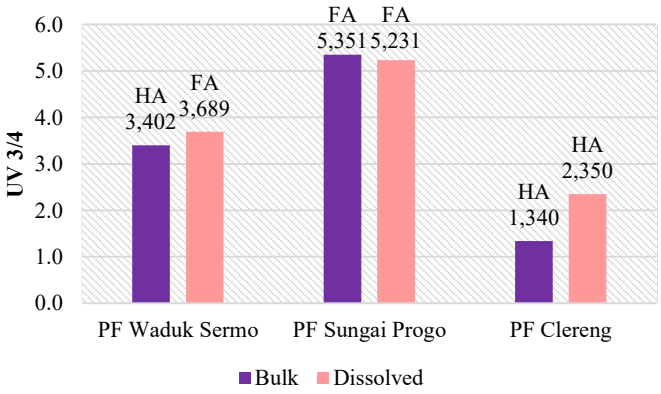
	$UV_{3/4}$ *Bulk*			$UV_{3/4}$ *Dissolved*		
	PF WS	PF SP	PF C	PF WS	PF SP	PF C
Tertinggi	8,0	11,20	2,30	9,0	9,0	5,0
Terendah	0,333	1,036	0,66	0,333	3,00	0,667
Rerata	**3,402**	**5,351**	**1,340**	**3,689**	**5,231**	**2,350**

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*
**) Nilai terendah dan rerata dipilih/dihitung dengan mengabaikan rasio negatif dan/tak terhingga*
**) Shimadzu Pharmaspec UV-1700 UV-Visible Spectrophotometer*

Apabila melihat nilai rerata rasio $UV_{3/4}$ selama periode pengambilan sampel (Tabel 4.10), IPA Sendang Sari dan *bulk* IPA Sermo kembali menunjukkan dominansi fraksi organik *humic acid* (rasio <3,5) sedangkan pada IPA Progo dan *dissolved* IPA Sermo juga kembali menunjukkan dominansi fraksi organik *fulvic acid* (rasio >3,5). Adapun fraksi humin, merupakan fraksi organik yang tidak mudah larut baik dalam keadaan asam maupun basa, serta umumnya terakumulasi di dalam tanah (Boggs, et al., 1985). Oleh karena itu, senyawa humus NOM dalam air umumnya hanya ditemukan dalam fraksi asam humat atau asam fulvat.

Asam *humic* umumnya memiliki berat molekul atau *molecular weight* (MW) lebih besar dari asam *fulvic* (Güngör, et al,. 2010). Sifat *humic* cenderung menyebabkan suatu organik mudah terdegradasi menjadi berat molekul yang lebih kecil (Artinger, et al., 2000). Hal tersebut yang mungkin menjadi penyebab kenaikan rasio $UV_{3/4}$ sampel *dissolved* dari sampel *bulk* pada IPA Sermo dan IPA

Sendang Sari. Selain itu, pengingkatan rasio $UV_{3/4}$ pada sampel IPA Progo juga dapat terjadi akibat pernyaringan sebagian partikel asam humat yang memiliki berat molekul >3kDa (kiloDalton), dimana penyaringan sampel pada ukuran pori 0,45 µm hanya dapat meloloskan partikel dengan berat molekul <3kDa (Chowdhury, 2013).



Gambar 4. 17 Perbandingan *Bulk* dan *Dissolved* $UV_{3/4}$ Air *Post-Filtration*

Gambar 4.17 menunjukkan konsistensi fraksi NOM antara sampel *bulk* dengan sampel *dissolved*. Terlihat dimana IPA Progo memiliki kandungan NOM yang didominasi oleh fraksi FA. Sebagaimana yang diungkapkan Filella, bahwasanya jenis perairan seperti sungai umumnya memiliki fraksi senyawa humus yang dominan oleh asam fulvat (Filella, 2008). Pada kesempatan lain, Hamilton mengemukakan bahwa senyawa humus dianggap kaya akan gugus fungsi aromatik (Hamilton, 2014). Berbeda dengan IPA Progo, IPA Sendang Sari menunjukkan dominasi fraksi asam humat dalam sampel airnya. Mengingat tingginya nilai COD IPA Sendang Sari, Zhang menyebutkan bahwa COD memiliki hubungan yg signifikan positif dengan zat seperti humat (Zhang, et al., 2011).

Diantara kedua komponen utama penyusun senyawa humus (*humic substances*) ini, yaitu *humic acid* (HA) dan *fulvic acid* (FA), *humic acid* diperoleh lebih reaktif untuk bereaksi dengan klorin dibanding *fulvic acid*. HA menjadi salah satu komponen utama terhadap pembentukan senyawa THMs kloroform ($CHCl_3$) (WHO, 2000). Terkait berat molekul bahan organik, Chowdhury (2013)

juga mengungkapkan bahwa peningkatan berat molekul NOM turut meningkatkan reaksi pembentukan senyawa THMs $CHCl_3$, namun berbeda dengan ion bromida yang lebih reaktif terhadap NOM dengan berat molekul yang lebih kecil.

4.3.9 Perbandingan Metode Uji NOM

Berdasarkan hasil pengujian empat parameter NOM terhadap ketiga jenis sumber air, terlihat adanya pola kecenderungan suatu parameter NOM untuk merepresentasikan bentuk dan jenis NOM pada sumber air tersebut. Sebagaimana disebutkan sebelumnya, bahwa setiap parameter NOM diyakini dapat merepesentasikan NOM dalam bentuk yang berbeda. Fungsi ini yang kemudian digunakan untuk menunjukkan karakteristik NOM berdasarkan konsentrasi atau jumlah tertinggi yang diperoleh pada masing-masing sumber air.

Tabel 4. 10 Konsentrasi Paling Tinggi pada Setiap Parameter NOM

	COD	$KMnO_4$	UV_{254}	$UV_{3/4}$ HA	$UV_{3/4}$ FA
Bulk	**C**	**WS**	**SP**	**C**	**SP**
Disssolved	**WS**	**WS**	**SP**	**C**	**SP**

**) SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Apabila mengumpulkan seluruh hasil pengujian parameter NOM dan mengurutkannya berdasarkan nilai tertinggi yang diperoleh pada setiap parameter, maka dapat diambil beberapa poin utama sebagai berikut.

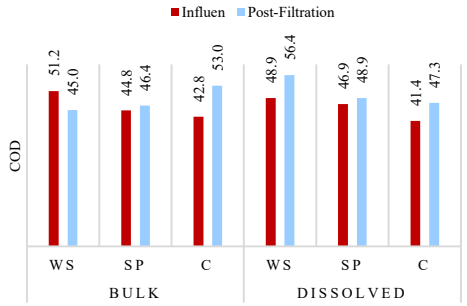
1. Keberadaan NOM pada Waduk Sermo yang diwakilkan oleh sampel IPA Sermo, didominasi oleh senyawa-senyawa organik yang dapat dioksidasi oleh kalium permanganat ($KMnO_4$) seperti atom-atom karbon dengan ikatan yang lemah, serta kalium dikromat (COD). Organik ini diperkirakan berasal dari sumber-sumber organik *terrestrial* seperti pelapukan daun dan makhluk hidup lainnya yang masuk ke badan air melaui limpasan, serta *aquatic* seperti aktivitas mikroorganisme di dalam badan air.
2. Kandungan NOM pada Sungai Progo yang digambarkan melalui sampel IPA Progo, menunjukkan keunggulan pada senyawa organik yang

tertangkap pada gelombang 254 nm UV yaitu senyawa organik aromatik yang mana juga didominasi oleh fraksi asam fulvat. Sumber senyawa aromatik ini diperkirakan berasal dari sumber organik *terrestrial* seperti pertanian dan aktivitas pengembangan lainnya yang masuk ke badan air melalui limpasan.

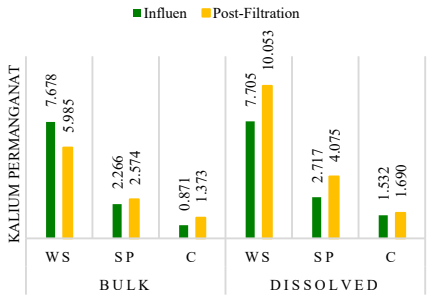
3. Kandungan NOM pada Mata Air Clereng yang diwakilkan oleh sampel IPA Sendang Sari, menunjukkan konsistensi pada parameter $UV_{3/4}$ yaitu kecenderungan tinggi pada senyawa humus fraksi asam humat serta organik yang teroksidasi oleh kalium dikromat (COD). Organik ini diperkirakan berasal dari pelapukan daun dan tumbuhan-tumbuhan lainnya yang mengelilingi mata air.

4.3.10 Perbandingan Air *Post-Filtration* dengan Air Influen

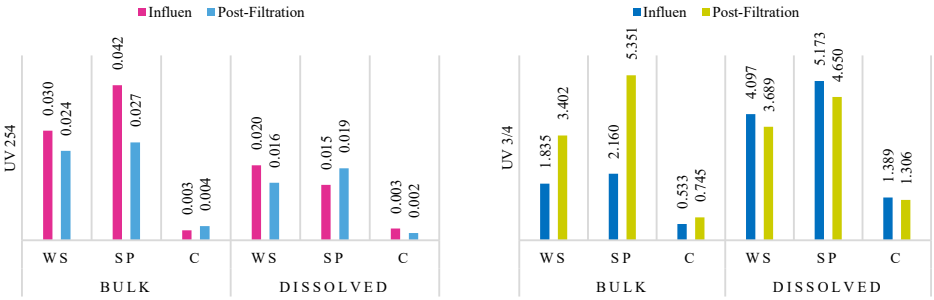
Pada dasarnya, kondisi fisik, kimia dan organik air *post-filtration* tidak lepas dari pengaruh unit pengolahan air yang dilaluinya, baik yang mengolah secara fisik maupun kimiawi. Disebutkan pula oleh beberapa penelitian bahwa kandungan NOM dalam air dapat dihilangkan oleh sejumlah pengolahan tertentu seperti koagulasi, filtrasi, oksidasi, adsorpsi dan tak terkecuali klorinasi (Gora, et al., 2011). Unit koagulasi dan filtrasi terdapat pada IPA Sermo dan IPA Progo, sedangkan unit preklorinasi dapat ditemui pada IPA Sermo. Bentuk dan besarnya pengaruh yang diberikan oleh IPA terhadap konsentrasi dan karakteristik NOM dalam air *post-filtration* dapat dikaji dengan melihat kondisi awal sampel air sebelum mendapatkan proses pengolahan, yaitu air influen.



(a) COD



(b) $KMnO_4$



(c) UV_{254} (d) $UV_{3/4}$

Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Air Influen dan *Post-Filtration*

Berikut pembahasan terhadap Gambar 4.18 akan diuraikan pada poin-poin di bawah ini.

a. Gambar 4.18 poin (a) menunjukkan perbandingan antara air influen dan *post-filtration* pada parameter COD. Jika melihat kondisi sampel influen dari masing-masing IPA, maka terlihat adanya mayoritas pengingkatan konsentrasi COD *bulk* dan *dissolved* selama periode pengambilan dan pengujian pada ketiga jenis sampel. Penurunan konsentrasi COD paling tinggi terdapat pada IPA Sermo dengan rata-rata persentase penyisihan 14% COD *bulk*. Namun hal yang sama tidak terjadi pada konsentrasi COD *dissolved*. Kemungkinan terbesar penyebab penurunan COD *bulk* pada IPA Sermo adalah penambahan kaporit pada proses preklorinasi, dimana asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit ($^{-}$OCl) yang terbentuk dari kaporit merupakan oksidator yang kuat terhadap materi organik di air. Hal yang berbeda terjadi pada COD *dissolved* menunjukkan adanya perbedaan karaktersitik materi organik yang dapat teroksidasi oleh desinfektan kaporit.

   Pada IPA Progo, perbandingan COD *bulk* dengan kondisi influennya juga menunjukkan adanya penurunan, namun tidak signifikan. Penurunan konsentrasi COD *bulk* hanya terjadi sebanyak 4 kali dari total periode pengambilan sampel (9 kali), keseluruhan rata-rata penyisihan hanya -6%

(negatif enam persen). Hal yang sama kembali terjadi pada IPA Progo dimana persentase penyisihan COD *bulk* lebih tinggi dari COD *dissolved* (-23%). Kemungkinan terbesar penyebab penurunan COD pada IPA Progo adalah pengolahan koagulasi-flokulasi (Nguyen, 2017). Sementara itu, pada IPA Sendang Sari, penyisihan baik COD *bulk* maupun *dissolved* terjadi pada persentase yang sangat kecil, mengingat tidak adanya pengolahan air di IPA selama periode pengambilan sampel.

b. Gambar 4.18 poin (b) menunjukkan perbandingan antara air influen dan *post-filtration* pada parameter $KMnO_4$. Penurunan konsentrasi nilai permanganat *bulk* terjadi pada IPA Sermo dengan rata-rata persentase penurunan mencapai 23%. Besar kemungkinan penurunan ini terjadi akibat adanya proses preklorinasi dengan kaporit pada IPA, dimana organik dalam air dapat bereaksi dengan HOCl dan OCl^- menjadi produk samping Disinfeksi *(disinfection by-product)*. Hal yang sama tidak terjadi pada IPA Progo dan Sendang Sari (penurunan yang terjadi sangat kecil), serta pada konsentrasi permanganat *dissolved* (hampir tidak ada penurunan). Sebagaimana kondisi yang digambarkan pada analisa konsentrasi COD, hal ini menyangkut kemampuan unit pengolahan yang hanya dapat menyisihkan organik berupa partikel dan tidak banyak berpengaruh terhadap organik terlarut.

c. Gambar 4.18 poin (c) menunjukkan perbandingan antara air influen dan *post-filtration* pada parameter UV_{254}. Terdapat penurunan absorbansi yang cukup signifikan, namun hanya terjadi pada *bulk sample* IPA Sermo, IPA Progo, dan sedikit pada *dissolved sample* IPA Sermo. Adapun rerata persentase penurunan absorbansi pada IPA Sermo dan IPA progo masing-masing adalah 14% dan 7%. Hal ini yang kemudian dapat menjadi kemungkinan penyebab sampel *post-filtration* IPA Sermo yang menjadi lebih rendah dari IPA Progo, mengingat kondisi sumber IPA Sermo

(Waduk Sermo) yang lebih berpotensi mengandung bahan organik lebih tinggi dibandingkan Sungai Progo.

d. Gambar 4.18 poin (d) menunjukkan perbandingan antara air influen dan *post-filtration* pada parameter $UV_{3/4}$. Apabila melihat kondisi influen masing-masing sampel, terjadi kenaikan rasio $UV_{3/4}$ pada sampel *bulk* dan penurunan rasio $UV_{3/4}$ pada sampel *dissolved* pada masing-masing sampel IPA. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahan organik *bulk* lebih rentan terhadap dampak dari proses pengolahan air seperti preklorinasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan filtrasi dibanding dengan sampel *dissolved*. Kenaikan rasio dari influen menunjukkan proses degradasi organik menjadi senyawa yang lebih sederhana berlangsung cukup banyak, khususnya akibat proses preklorinasi (IPA Sermo) dan penambahan PAC pada koagulasi-flokulasi.

   Pada umumnya, partikel dengan berat molekul yang rendah seperti asam fulvat akan lebih sulit untuk dihilangkan dengan koagulasi dibandingkan dengan partikel dengan berat molekul yang tinggi seperti asam humat (IWA, 2018). Baik reaksi klorinasi maupun koagulasi, keduanya memungkinkan interaksi antara bahan organik dengan klorin dalam HOCl dan OCl^- serta alum dalam PAC ($Al_n(OH)_mCl_{3n}$). Meskipun begitu, reaksi tersebut kiranya tidak mempengaruhi sampel *dissolved* secara signifikan.

4.4 Hubungan Antar Parameter Organik

Koefisien determinasi (r^2) menunjukkan seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan antar variabel/parameter NOM, baik korelasi tersebut positif maupun negatif. Korelasi yang kuat diindikasikan melalui angka koefisien determinasi ≥ 0,6 (Hadi, 2015). Berikut parameter organik beserta kemungkinan hubungan yang terbentuk antara keduanya.

4.4.1 COD – $KMnO_4$

Pengujian COD dan nilai permanganat pada dasarnya menggunakan prinsip yang sama, memanfaatkan oksidator kuat untuk mengoksidasi bahan organik yang terkandung di dalam sampel air. Perbedaan keduanya terletak pada kemampuan oksidator kuat yang digunakan, yaitu kalium dikromat (COD) dan kalium permanganat ($KMnO_4$). Hal ini kemudian menjadi dasar kemungkinan adanya hubungan antar kedua parameter tersebut.

Tabel 4. 11 Koefisien Determinasi (r^2) Korelasi COD – $KMnO_4$

	COD – $KMnO_4$		
	PF WS	PF SP	PF C
Bulk	0,1338	0,3166	0,2443
Dissolved	0,1808	0,5267	0,0415

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Berdasarkan hasil regresi linier data COD dan nilai permanganat, terlihat bahwa mayoritas sampel menunjukkan korelasi lebih dari 0,1 dengan korelasi terkuat dimiliki oleh sampel IPA Progo. Meskipun begitu, angka koefisien determinasi ketiga sampel masih terbilang lemah. Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik bahan organik yang teroksidasi kalium dikromat dengan kalium permanganat.

4.4.2 COD – UV_{254}

Absorbansi pada UV gelombang 254 nm dipercayai dapat merepresentasikan jumlah bahan organik yang memiliki sifat aromatik, sedangkan COD merepresentasikan oksigen dibutuhkan untuk oksidasi bahan organik total dalam sampel. Perbedaan peran tersebut yang kemudian mendasari kemungkinan adanya hubungan antar kedua parameter tersebut.

Tabel 4. 12 Koefisien Determinasi (r^2) Korelasi COD – UV_{254}

	COD – UV_{254}		
	PF WS	PF SP	PF C
Bulk	0,2237	0,8586	0,7936
Dissolved	0,1523	0,0101	0,6552

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Berdasarkan hasil koefisien relasi yang terbentuk, terlihat adanya hubungan yang kuat antara sampel IPA Sendang Sari dan sampel *bulk* IPA Progo. Hal ini menunjukkan adanya kesamaan karaktersitik bahan organik, dimana senyawa-senyawa organik yang teroksidasi pada COD diduga kuat memiliki sifat aromatik pada strukturnya, khususnya pada ketiga sampel IPA dengan hubungan terbentuk >0,6. Sebaliknya, sampel IPA Sermo kembali tidak menunjukkan hubungan yang kuat antar kedua parameter ini, sehingga mengindikasikan bahan organik dengan sifat aromatik tidak mendominasi sampel IPA Sermo ataupun sampel *dissolved* IPA Progo.

4.4.3 COD – $UV_{3/4}$

Rasio absorbansi UV pada gelombang 300 nm dan 400 nm dipercayai dapat merepresentasikan sifat *humic* dan *fulvic*, sedangkan COD merepresentasikan oksigen dibutuhkan untuk oksidasi bahan organik total dalam sampel. Perbedaan peran tersebut yang kemudian mendasari kemungkinan adanya hubungan antar kedua parameter tersebut.

Tabel 4. 13 Koefisien Determinasi (r^2) Korelasi COD – $UV_{3/4}$

	COD – $UV_{3/4}$		
	PF WS	PF SP	PF C
Bulk	0,4323	0,087	0,2671
Dissolved	0,3824	0,0815	0,5598

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Berdasarkan tabel diatas, angka koefisien determinasi masing-masing sampel terbilang rendah, sehingga menunjukkan tidak adanya korelasi yang kuat antara bahan organik yang direpresentasikan COD dengan tingkat humifikasi yang diresresentasikan $UV_{3/4}$.

4.4.4 $KMnO_4$ – UV_{254}

Hubungan antara parameter nilai permanganat dan UV gelombang 254 nm dimaksudkan untuk melihat adanya kecenderungan sifat aromatik pada bahan organik yang teroksidasi oleh kalium permanganat.

Tabel 4. 14 Koefisien Determinasi (r^2) Korelasi $KMnO_4$ – UV_{254}

	$KMnO_4$ – UV_{254}		
	PF WS	PF SP	PF C
Bulk	0,5965	0,4801	0,0262
Dissolved	0,0426	0,0029	0,2786

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Berdasarkan angka koefisien determinasi yang terbentuk, korelasi yang lemah kembali ditunjukkan dari masing-masing sampel IPA. Pada IPA Sermo, terdapat potensi untuk membentuk korelasi cukup kuat sejak angka koefisien yang dihasilkan mendekati 0,6 mengingat korelasi COD – $KMnO_4$ dan COD – UV_{254} sebelumnya sangat rendah. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan sampel *bulk* IPA Sermo mengandung bahan organik bersifat aromatik meskipun tidak mendominasi.

4.4.5 $KMnO_4$ – $UV_{3/4}$

Hubungan antara parameter nilai permanganat dengan rasio UV gelombang 300 nm dan 400 nm dimaksudkan untuk melihat adanya kecenderungan sifat *humic* atau *fulvic* pada bahan organik yang teroksidasi oleh kalium permanganat.

Tabel 4. 15 Koefisien Determinasi (r^2) Korelasi $KMnO_4$ – $UV_{3/4}$

	$KMnO_4$ – $UV_{3/4}$		
	PF WS	PF SP	PF C
Bulk	0,2875	0,1262	0,6984
Dissolved	0,0006	0,0633	0,239

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Berdasarkan tabel hubungan diatas sampel IPA Sendang Sari kembali menunjukkan adanya korelasi yang cukup kuat pada *bulk sample*-nya. Hal ini menggambarkan bahwa besar kemungkinan bahan organik yang teroksidasi oleh kalium permanganat memiliki sifat *humic* ataupun *fulvic* dan cukup mendominasi. Mengingat sebelumnya korelasi lemah IPA Sendang Sari terjadi pada COD – $KMnO_4$, dimana COD – $UV_{3/4}$ memiliki hubungan yang sangat lemah, sedangkan COD – UV_{254} menunjukkan hubungan yang kuat, dapat menunjukkan bahwa korelasi antara kedua parameter ini mungkin terjadi. Berbeda dengan sampel *dissolved* IPA Sendang Sari yang telah menunjukkan potensi adanya korelasi pada hubungan COD – $UV_{3/4}$.

4.4.6 UV_{254} – $UV_{3/4}$

Baik parameter UV_{254} maupun $UV_{3/4}$, keduanya diuji dengan metode spektrofotometri namun pada Panjang gelombang yang berbeda. Panjang gelombang 254 nm masih masuk ke dalam rentang gelombang yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan NOM (220 nm – 280 nm), sedangkan panjang gelombang 300 nm dan 400 nm berada pada rentang yang cukup jauh dari rentang bahan organic tersebut dan hampir mendekati panjang gelombang *visible*. Hubungan antara keduanya dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana korelasi bahan organik aromatik yang terdeteksi oleh UV_{254} terhadap bentuknya sebagai *humic* atau *fulvic* dalam sampel air.

Tabel 4. 16 Koefisien Determinasi (r^2) Korelasi UV_{254} – $UV_{3/4}$

	UV_{254} – $UV_{3/4}$		
	PF WS	PF SP	PF C
Bulk	0,1396	0,2981	0,0782
Dissolved	0,1013	0,2357	0,9407

**) PF: Post-Filtration; SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng*

Korelasi yang kuat kembali terjadi pada sampel IPA Sendang Sari untuk *dissolved sample*. Korelasi ini menunjukkan kemungkinan bahwa senyawa aromatik yang terdeteksi dalam sampel juga merupakan bagian dari *humic substances* berupa *humic acid* ataupun *fulfiv acid*. Kemungkinan ini juga didukung oleh korelasi kuat yang terbentuk dari sampel *dissolved* IPA Sendang Sari pada COD – UV_{254} dan COD – $UV_{3/4}$ serta korelasi yang setara pada $KMnO_4$ – UV_{254} dan $KMnO_4$ – $UV_{3/4}$.

Adapun seluruh koefosien determinasi (r^2) dapat dirangkum pada Tabel 4.18 sebagai berikut.

Tabel 4. 17 Koefisien Determinasi pada Korelasi Antar Parameter NOM

BULK	**COD**		**$KMnO_4$**		**UV_{254}**		**$UV_{3/4}$**		***DISS***
COD	1		0,5267 -0,1808 -0,0415	SP WS C	-0,0101 -0,1523 0,6552	SP WS C	0,0815 0,3824 0,5598	SP WS C	**COD**
$KMnO_4$	-0,3166 -0,1338 0,2443	SP WS C	1		-0,0029 0,0426 -0,2786	SP WS C	-0,0633 -0,0006 -0,239	SP WS C	**$KMnO_4$**
UV_{254}	0,8586 -0,2237 0,7936	SP WS C	0,4801 0,5965 0,0262	SP WS C	1		0,2357 -0,1013 0,9407	SP WS C	**UV_{254}**
$UV_{3/4}$	-0,087 0,4323 0,2671	SP WS C	0,1262 -0,2875 0,6984	SP WS C	-0,2981 -0,1396 0,0782	SP WS C	1		**$UV_{3/4}$**

**) SP: Sungai Progo; WS: Waduk Sermo; C: Clereng; DISS: Dissolved*