

IDENTIFIKASI TITIK-TITIK MASUKAN ALIRAN MATERIAL KONSUMER OKSIGEN TERLARUT (DO) AIR SUNGAI CITARUM HULU

Eko Harsono*, Guruh Satria Ajie* & Sulung Nomosatrio*

ABSTRAK

Sungai Citarum Hulu banyak menerima aliran air yang mengandung material konsumer oksigen, dan saat ini oksigen terlarut (DO; Dissolve Oxygen) airnya kurang dari baku mutu yang telah ditetapkan (Golongan C, DO air ≥ 3 mg/l). Penelitian identifikasi titik-titik masukan aliran air tersebut, telah dilakukan di sepanjang ruas Curugjompong s/d Majalaya. Pelacakan titik masukan aliran air dilakukan dengan uji lapang menggunakan GPS koordinat UTM titik-titik masukan aliran hasil interpretasi citra Google Earth dan Quick Birth 2004. Identifikasi dilakukan dengan pengambilan contoh air dan analisis BOD₅ terlarut di laboratorium, pengukuran debit aliran, DO dan pH di titik tersebut. Hasil uji lapang pada musim kemarau didapat 36 titik dan musim penghujan 51 titik yang menjadi sumber masukan aliran massa BOD₅. Perbandingan dengan baku mutu kualitas air limbah industri, saat musim kemarau 80,6% dan musim penghujan 42,2% titik-titik masukan aliran air telah tercemar oleh BOD₅. Hasil analisis BOD₅ terlarut dan BOD₅ total pada titik yang sama tidak mempunyai hubungan yang sistematis. Berdasarkan pada perbandingan antara aliran massa BOD₅ terlarut pada musim kemarau dengan penghujan, disinyalir BOD tersebut berasal dari sumber yang sama. Total kemampuan pulih sendiri sungai Citarum Hulu sebesar 25,6% pada musim kemarau dan 4,3% pada musim penghujan. Berdasarkan pengukuran pH, aliran massa BOD₅ dari sebagian besar titik-titik masukan aliran disinyalir berasal dari air limbah industri tekstil yang ada di dalam DAS Citarum Hulu.

Kata kunci : Oksigen, Sungai Citarum, organik terdegradasi, kemampuan pulih sungai

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF DISSOLVED OXYGEN CONSUMER OF MATERIAL INFLUENTS IN WATER BODY OF UPPER CITARUM RIVER. *The Water quality standard of the Upper Citarum river have been specified as C class (DO ≥ 3 mg/l), but in this time dissolve oxygen(DO) still below than 3 mg/L. Deficiency of dissolve oxygen from WQS in Upper Citarum river water caused by degradable material contained in number of the stream water inflow into Upper Citarum River. In case of the loading rate evaluation study, determination of the point of loading site is necessary needed. Identification of point source of degradable material loading was investigated at upper citarum river (Curugjompong to majalaya). Tracing the point source based on UTM geographic coordinate point determined by interpretation image of Google earth 2007 and Quick Bird 2007. At each of the point, beside measured for the rate of flow water, the samples was collected and analyzed for dissolved and total BOD₅ concentration, pH, and DO. The concentration of dissolved BOD₅ represented the degradable material at each point. The field trace has been found 36 point in dry season and 51 point in wet season of loading site. All of that water have already contaminated by BOD₅. The percentage ratio of measured concentration with Water Quality Standard value in dry season is 80.6% whereas in wet season is 42.2%. There is no significant correlation between total and dissolved BOD₅. Mass flow of dissolve BOD₅ in all of loading site point show the similar loading and it is estimated come from the same source, predicted from textile industry waste. Upper citarum River have total re-purification 25.6% in dry season and 4.3% in wet season.*

Keywords : Oxygen, Citarum River, degradable organic, repurification, purification river

* Staf Peneliti Puslit Limnologi-LIPI

PENDAHULUAN

Sungai Citarum Hulu mempunyai ruas dari mata air di Gunung Wayang (elevasi \pm 900 m msl) hingga Curugjompong (elevasi \pm 625 m msl), luas DAS (Daerah Aliran Sungai)-nya 1807 km². Sungai ini telah ditetapkan baku mutu peruntukan kualitas air golongan C yang kandungannya oksigen terlarut (DO; *Dissolve Oxygen*) disyaratkan \geq 3,0 mg/l (S.K. Gubernur Jawa Barat No.38 Tahun 1991). Namun sampai saat ini, kondisi DO air sungai Citarum Hulu masih di bawah 3 mg/l baik pada musim kemarau maupun musim penghujan (Harsono, 2004).

Oksigen terlarut (DO) air sungai, merupakan hasil proses neraca antara asupan oksigen baik dari udara maupun aliran air dengan pemakaian oksigen oleh mikroorganisme aerobik untuk oksidasi material terdegradasi yang ada dalam badan air tersebut (Thomann, 1987). Apabila DO yang dipakai lebih banyak dari pada asupannya, maka badan air tersebut akan terjadi difisit yang akhirnya tidak dapat mempertahankan DO badan air \geq 3 mg/l. Menurut Chapra (1997), material terdegradasi penguras oksigen badan air adalah karbon organik yang diukur dengan besaran BOD (*Biological Oxygen Demand*). Material ini pada umumnya berasal dari titik masukan aliran massa pencemar di suatu badan air (sumber titik) (Thomann, 1987). Titik-titik masukan tersebut dapat berupa anak sungai, penyalur air limbah penduduk baik berbentuk selokan maupun pipa, penyalur air limbah industri baik berupa selokan maupun pipa, dan saluran pengatus (*drainage*) dari area pemukiman maupun persawahan (Metcalf, 1991). Dengan demikian untuk menjaga DO air tetap di atas baku mutunya, maka besarnya massa material terdegradasi dalam badan air yang masuk melalui sumber titik tersebut harus dikendalikan.

DAS Citarum Hulu melingkupi Kota dan Kabupaten Bandung, Kota Cimahi serta sebagian kecil Kabupaten Sumedang, mempunyai penduduk 5.373.513 jiwa (sensus penduduk 2005) dan merupakan sentra industri tekstil. Berdasarkan peneliti pendahulu, Sungai Citarum Hulu telah menjadi badan air penerima beban BOD₅ 160.000 ~ 200.000 ton/hari dari penduduk (Salim, 2002), dan 81.363 ~ 109.114 ton/hari dari industri (Bukit, 2002). Beban BOD₅ dari air limbah tersebut masuk ke dalam sungai Citarum, kemungkinan dapat melalui banyak titik aliran masuk.

Penentuan titik masukan aliran ke dalam Sungai Citarum Hulu telah dilakukan oleh Perum Jasa Tirta dan BLH (Badan Lingkungan Hidup) Kabupaten Bandung, yaitu dalam rangka monitoring kualitas airnya. Dari hasil penentuan titik tersebut, telah ditetapkan sembilan titik yang merupakan anak-anak Sungai Citarum (lokasi lihat gambar 1). Namun berdasarkan studi pendahuluan di dalam studio dengan interpretasi dari citra Google Earth tahun 2007 dan Quick birth 2004 dalam penelitian ini, telah terlihat 160 titik menyerupai titik masukan anak sungai dan saluran lainnya yang alirannya potensial mengandung BOD.

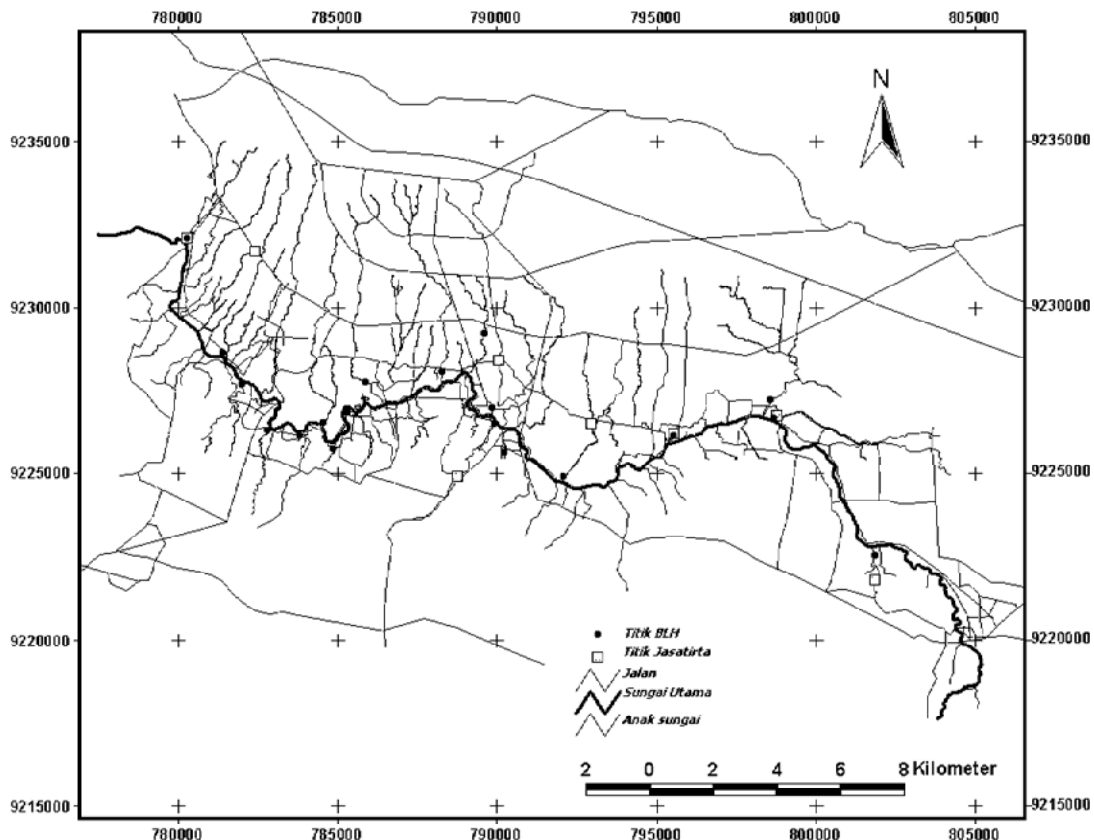
Melihat selisih antara titik masukan hasil penetapan Perum Jasa Tirta dan BLH dengan hasil interpretasi tersebut cukup besar, dikhawatirkan hasil identifikasi titik-titik aliran masukan yang telah dilakukan oleh instansi tersebut tidak dapat merepresentasikan kandungan BOD di dalam badan air Sungai Citarum Hulu. Dengan demikian akan sulit melakukan perencanaan dalam usaha perbaikan DO air Sungai Citarum Hulu, dengan cara pengurangan beban BOD pada titik-titik masukan aliran.

Untuk itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi titik-titik masukan aliran beban BOD₅ yang dapat memrepresentasikan kandungan BOD badan air Sungai

Citarum Hulu ruas Majalaya hingga Curugjompong. Hasil penelitian ini diharapkan dapat melengkapi titik masukan aliran yang telah ada dan dapat digunakan untuk acuan dalam evaluasi aliran beban masukan BOD dalam perbaikan DO badan air Sungai Citarum Hulu.

Alat Yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam indentifikasi titik-titik tersebut menggunakan GPS-MAP 76CSX Garmin. Untuk mengetahui kecepatan aliran air di titik tersebut menggunakan Universal Digital Current-meter Tamaya Model UC-2 untuk



Gambar 1. Lokasi Titik dari BLH dan Jasa Tirta

BAHAN DAN METODE

Bahan

Identifikasi titik-titik asupan beban BOD₅ di sepanjang sungai Citarum Hulu (ruas Curugjompong s/d Majalaya) dalam penelitian ini berdasarkan pada koordinat UTM (*Universal Transvers Mercator*) kenampakan titik masukan aliran dari hasil interpretasi citra Google Earth tahun 2007 dan Quick birth 2004 yang telah dilakukan di studio. Koordinat UTM tersebut dapat dilihat dalam tabel 1.

kecepatan aliran air yang tinggi, dan Digital Current-meter Model UC-304 untuk kecepatan aliran air yang rendah. Untuk mengetahui BOD₅ air di titik yang telah teridentifikasi digunakan alat yang terdiri dari kertas saring Millipore 0,45 µm, botol BOD 300 ml dan box pendingin. Sedangkan untuk mengetahui DO dan pH air di titik yang telah teridentifikasi digunakan Water Quality Checker Merk Horiba U-10

Tabel 1. Koordinat UTM Interpretasi Titik-Titik Masukan Aliran ke dalam Sungai Citarum Hulu

Nomor	NAMA	Koordinat UTM		Nomor	NAMA	Koordinat UTM		Nomor	NAMA	Koordinat UTM		Nomor	NAMA	Koordinat UTM	
		X	Y			X	Y			X	Y			X	Y
1	wangisagara	803750	9217301	41	No Name 103	796419	9226255	81	No Name 68	790463	9226364	121	No Name 31	784956	9226026
2	-sapan 5	804752	9218413	42	No Name 102	796385	9226215	82	No Name 67	790424	9226408	122	Ciboelarang	784899	9225953
3	-sapan 4	804900	9218436	43	No Name 101	796267	9226210	83	No Name 66	790259	9226380	123	No Name 30	784665	9225965
4	-add 20	805093	9219036	44	No Name 100	796158	9226177	84	No Name 65	790218	9226432	124	No Name 29	784602	9226100
5	-sapan 3	805041	9219325	45	No Name 99	796179	9226144	85	No Name 64	790205	9226407	125	Cimariuk	784462	9226522
6	jembatan sapan	804539	9219735	46	No Name 98	795788	9226006	86	No Name 63	790136	9226444	126	No Name 28	783962	9226463
7	- add 19	804473	9219890	47	No Name 97	795639	9226004	87	No Name 62	790176	9226481	127	No Name 27	783944	9226294
8	- add 18	804457	9219894	48	Cipamokolan	795351	9225944	88	No Name 61	790044	9226615	128	No Name 26	783761	9226269
9	- add 17	804281	9220682	49	No Name 96	795190	9225628	89	Cisangkuy	789971	9226619	129	No Name 5	779934	9230415
10	- add 16	802815	9222266	50	No Name 95	795162	9225514	90	No Name 60	789709	9226828	130	No Name 18	778219	9226674
11	- add 15	802847	9222533	51	No Name 94	794744	9225295	91	No Name 59	789382	9226826	131	No Name 4	779948	9230647
12	-sapan 2	802550	9222631	52	Cidurian	794663	9225277	92	No Name 58	789076	9227120	132	No Name 17	782886	9226728
13	-sapan 1	801673	9222705	53	No Name 93	794538	9225091	93	No Name 57	789117	9227259	133	No Name 16	782944	9226817
14	- add 14	800851	9224071	54	No Name 92	794232	9225233	94	No Name 56	789374	9227517	134	No Name 3	780068	9231314
15	- add 13	800733	9224501	55	Ciwastra	793795	9225161	95	No Name 55	789292	9227344	135	No Name 15	782815	9227239
16	- add 12	800547	9225233	56	No Name 91	793767	9225036	96	No Name 54	789394	9227430	136	No Name 14	782530	9227390
17	- add 11	800237	9225595	57	No Name 90	793759	9224867	97	No Name 53	789271	9227566	137	Tbh.1	780022	9230793
18	- add 10	800071	9225747	58	No Name 89	793764	9224767	98	No Name 52	789194	9227719	138	No Name 2	780169	9231444
19	- add 9	799991	9225803	59	No Name 88	793474	9224659	99	No Name 51	789175	9227939	139	Cicukang	782543	9227461
20	- add 8	799801	9225830	60	No Name 87	793439	9224567	100	No Name 50	789250	9227746	140	No Name 1	780136	9231582
21	- add 7	799614	9225794	61	No Name 86	793197	9224566	101	No Name 49	789234	9227925	141	Cwidley	781927	9227899
22	- add 6	799276	9225681	62	No Name 85	793000	9224600	102	No Name 48	789095	9228129	142	S. Cimahi	780141	9232185
23	- add 5	799065	9225915	63	No Name 84	792821	9224566	103	No Name 46	788915	9228160	143	No Name 13	781794	9228087
24	- add 4	798996	9226391	64	No Name 83	792673	9224530	104	No Name 47	789016	9228178	144	No Name 12	781751	9228243
25	- add 2	798859	9226456	65	No Name 82	792677	9224489	105	No Name 45	788870	9228141	145	No Name 11	781625	9228362
26	- add 1	798734	9226563	66	No Name 81	792646	9224485	106	No Name 44	788831	9228099	146	No Name 25	783598	9226341
27	Citarik	798537	9226691	67	No Name 80	792355	9224508	107	No Name 43	788783	9228039	147	Ciberurng	781388	9228648
28	Cikeruh	798310	9226780	68	No Name 79	792157	9224620	108	No Name 42	788732	9227995	148	No Name 24	783438	9226603
29	No Name 115	798124	9226764	69	Cicadas	791982	9224709	109	No Name 41	788363	9227876	149	No Name 10	780708	9228842
30	No Name 114	797917	9226773	70	No Name 78	791884	9224687	110	No Name 40	788337	9227879	150	No Name 23	783238	9226470
31	No Name 113	797804	9226752	71	No Name 77	791760	9224892	111	Citepus	788237	9227792	151	No Name 9	780597	9229395
32	No Name 112	797591	9226683	72	No Name 76	791540	9225090	112	No Name 39	788144	9227654	152	No Name 22	783059	9226374
33	No Name 111	797603	9226639	73	No Name 75	791501	9225070	113	No Name 38	787991	9227589	153	No Name 8	780508	9229488
34	No Name 110	797522	9226655	74	No Name 74	791293	9225280	114	No Name 37	787726	9227701	154	No Name 21	783616	9226356
35	No Name 109	797531	9226618	75	No Name 73	790922	9225442	115	No Name 36	787426	9227432	155	Cirenggeuy	780097	9229820
36	No Name 108	797387	9226568	76	No Name 72	790954	9225513	116	No Name 35	787240	9227374	156	No Name 20	782980	9226342
37	No Name 107	797252	9226571	77	No Name 71	790927	9225554	117	No Name 34	786391	9227115	157	No Name 7	779984	9229839
38	No Name 106	796928	9226542	78	No Name 70	790989	9225709	118	Cicangkudu	785156	9226850	158	No Name 19	782937	9226340
39	No Name 105	796648	9226481	79	No Name 69	790745	9225879	119	No Name 33	785305	9226554	159	No Name 6	779818	9230041
40	No Name 104	796494	9226397	80	Cikapundung	790570	9226409	120	No Name 32	785040	9226148	160	Cikumbuy	782831	9226431

Metode

Metode identifikasi titik-titik masukan aliran beban BOD₅ dilakukan dengan pelacakan lapang dari titik-titik koordinat UTM hasil interpretasi yang telah dimasukkan ke dalam GPS-MAP. Pelacakan dilakukan pada akhir musim kemarau (bulan September 2007) dan pada pertengahan musim penghujan (bulan April 2008), yaitu dengan menyusur tepian kanan-kiri Sungai Citarum Hulu sepanjang ruas dari titik Curugjompong sampai dengan Majalaya.

Menurut Chapra (1997), BOD yang langsung mengkonsumsi oksigen adalah yang terlarut, sedang yang dalam bentuk partikulat akan dilarutkan (hidrolisis) terlebih dahulu sebelum oksidasi dimulai. Dengan demikian untuk mendapatkan ketelitian dalam analisis penelitian ini, BOD terlarut yang dipilih untuk mengetahui besarnya aliran beban pada titik-titik yang telah ditemukan. Namun di Indonesia dalam analisis BOD air, lazimnya mengambil BOD total, maka untuk bahan perbandingan dalam

penelitian ini juga dianalisis BOD totalnya.

Untuk mengetahui aliran beban BOD pada titik yang telah ditemukan, dilakukan pengambilan contoh air, pengukuran debit aliran dan pengukuran DO dan pH.

Pengambilan contoh air dilakukan dengan metode Grab. Contoh air yang telah diambil dibagi menjadi dua bagian, dimana sebagian disaring menggunakan kertas saring millipore 0,45 µm dan bagian lainnya tidak disaring. Untuk memperlambat proses oksidasi kedua contoh air tersebut dalam perjalanan disimpan dalam pendingin ($\leq 4^{\circ}C$). Ke dua contoh air tersebut kemudian dibawa ke laboratorium, dan sebelum melewati batas waktu 24 jam contoh air telah dianalisis. Dalam penelitian ini, BOD terlarut diperoleh dari analisis BOD₅ contoh air tersaring yang dilakukan dengan metode standard (APHA, 1995) dimana mikroorganisme perombaknya hasil *seeding* dari lumpur sedimen Sungai Citarum Hulu. Sedangkan BOD₅ total diperoleh dari analisis dengan metode yang

sama pada contoh air yang tidak disaring.

Debit aliran (Q) diestimasi dengan menggunakan metode “Velocity-area” (Wanieslista, 1990), dan dapat diekspresikan sebagai,

$$Q = \sum_i A_i \bar{V}_i$$

A_i = luas Penampang melintang pada kecepatan aliran seksi i (m^2),

\bar{V}_i = Kecepatan aliran rata-rata pada seksi i (m/det).

Dalam penelitian ini, setiap penampang melintang titik masukan dibagi menjadi tiga seksi. Sedang kecepatan aliran diukur pada 0,6 kedalaman di setiap seksi dengan alat Current-meter.

Sedangkan untuk mengetahui besarnya laju massa BOD pada titik masukan yang telah teridentifikasi, diperoleh

dengan menggunakan formula sebagai berikut (Chapra, 1997),

$$L = f.Q.C$$

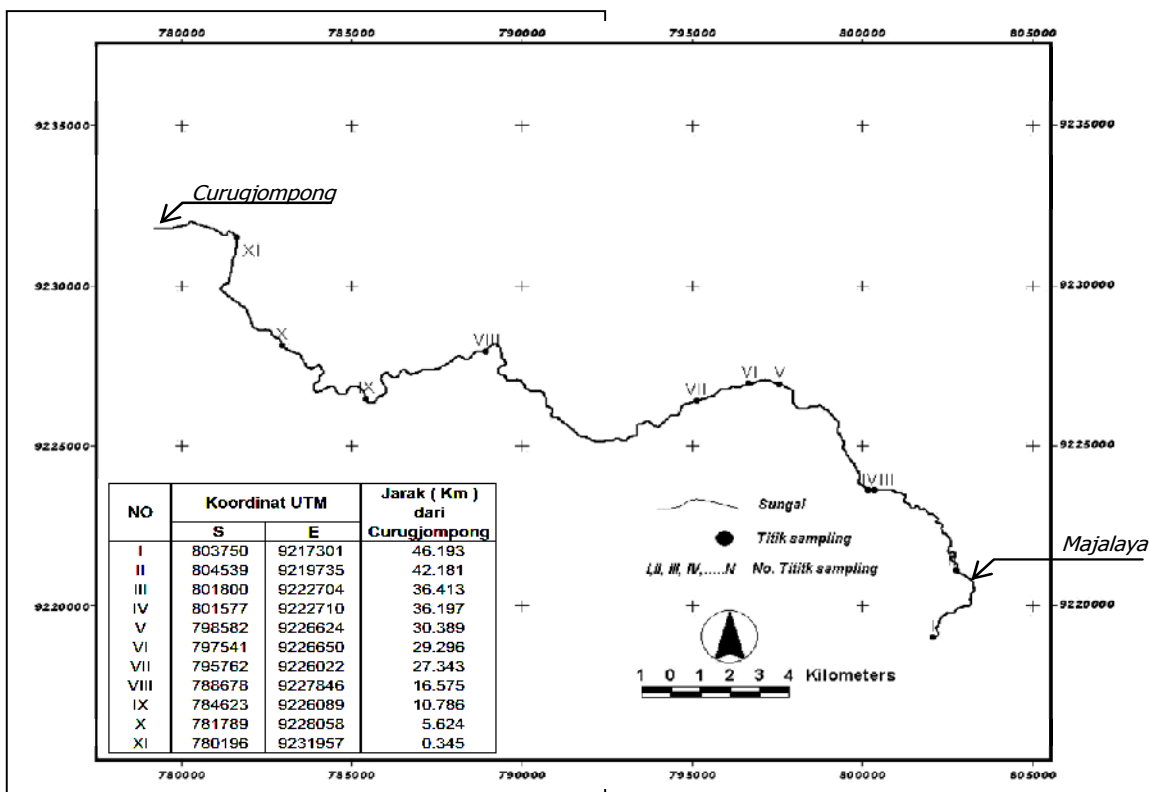
L = laju beban (kg/hari),

F = faktor konversi satuan yang nilainya 86,4

Q = debit aliran (m^3/det),

C = konsentrasi BOD₅ (mg/l).

Untuk mengetahui hubungan titik-titik aliran masukan yang telah teridentifikasi dengan Sungai Citarum Hulu sebagai penerima, maka juga dilakukan pengukuran debit, pengambilan contoh air dan pengukuran DO serta pH pada titik-titik seperti terlihat pada gambar 2. Dengan metode pengambilan contoh air, pengukuran debit dan analisis laboratorium yang sama dengan titik masukan, dapat diperoleh laju aliran massa BOD₅ setiap titik di sungai tersebut.



Gambar 2. Titik Pengambilan Contoh Air di Sungai Citarum Hulu

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil interpretasi melalui citra (tabel 1), telah nampak 160 titik yang menyerupai masukan aliran air ke dalam Sungai Citarum Hulu. Sedangkan hasil pelacakan lapang dari koordinat titik tersebut (tabel 2), pada musim kemarau (tahun 2007) terdapat 36 titik dan musim penghujan (tahun 2008) terdapat 51 titik masukan aliran air ke dalam Sungai Citarum Hulu. Perbedaan antara hasil interpretasi dengan hasil pelacakan titik masukan tersebut, dikarenakan pada interpretasi citra yang telah dilakukan semua kenampakan yang menyerupai titik masukan diperhitungkan. Namun setelah melalui uji lapang, pada umumnya yang terlihat dalam citra nampak seperti titik masukan aliran air ternyata merupakan runtutan tebing dan hasil penggalian tanah tanggul sungai untuk membuat bata. Sedangkan perbedaan titik masukan aliran air hasil pelacakan di musim penghujan dan musim kemarau, disebabkan oleh saluran titik masukan yang pada musim kemarau tidak ada aliran air, namun pada musim penghujan terjadi aliran airnya.

Seperti telah dikemukakan sebelumnya, BLH dan Perum Jasa Tirta

telah menentukan 19 titik anak sungai sebagai masukan aliran air ke dalam Sungai Citarum Hulu. Sedangkan dalam pelacakan yang telah dilakukan, selain anak sungai yang telah ditetapkan tersebut pada musim kemarau telah ditemukan tambahan 17 titik, dan musim penghujan ditemukan tambahan 36 titik aliran masuk baik dalam bentuk saluran terbuka maupun tertutup (pipa). Penambahan jumlah titik masukan aliran air tersebut, karena pelacakan dalam penelitian ini telah ditemukan saluran pembuang (*effluent*) dari yang langsung dibuang ke dalam badan sungai, yaitu seperti titik 7, 110, 108 dan sebagainya. Disamping itu juga telah ditemukan saluran-saluran pengatus (*drainage*) dari area irigasi dan pemukiman yang telah digunakan sebagai pengalir air limbah dari industri, yaitu seperti titik 35, 37, 44, 116 dan sebagainya.

Hasil pelacakan titik-titik masukan aliran air tersebut apabila dibuat frekuensi banyaknya titik terhadap rentang jarak dari Curugjompong ke hulu, maka dapat dipresentasikan grafik seperti pada gambar 3.

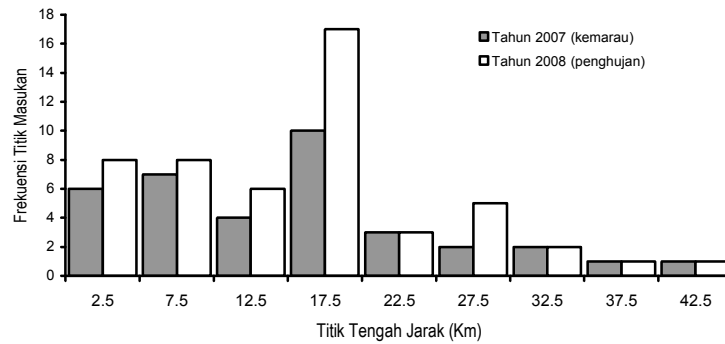
Frekuensi titik masukan aliran air ke dalam Sungai Citarum Hulu semakin tinggi setelah kilometer 20 ke arah hilir, dan pada kilometer antara 15 sampai 20 baik pada

Tabel 2. Koordinat UTM Hasil Pelacakan Lapang Titik Masukan Aliran Air ke Dalam Sungai Citarum Hulu pada Musim Kemarau (tahun 2007) dan Penghujan (tahun 2008)

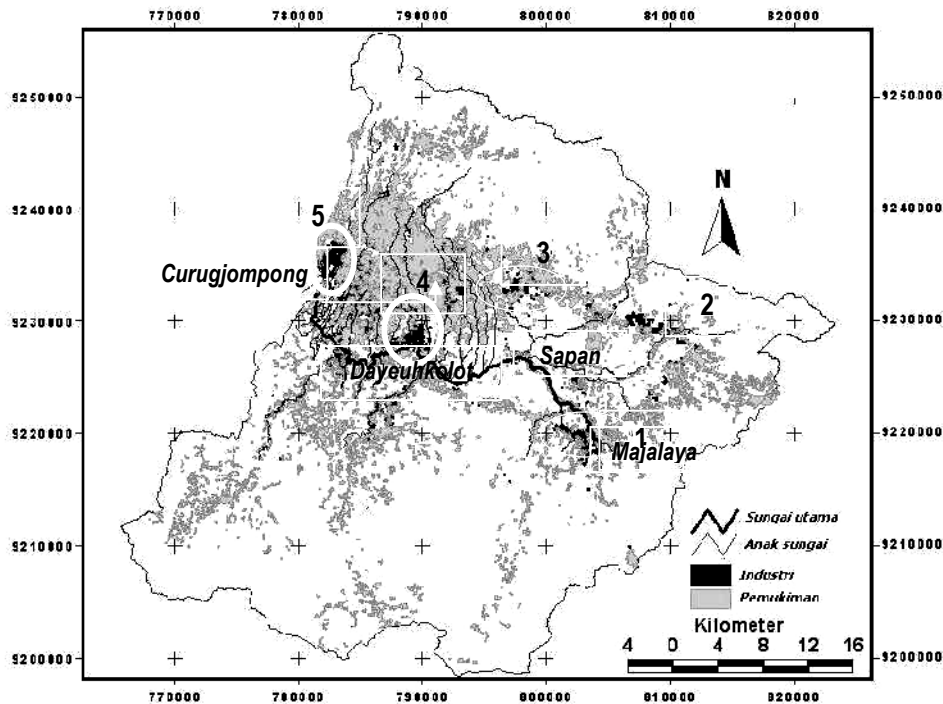
Hasil Identifikasi Influen di petakan pada Nomor	No GPS	Koordinat UTM		Nama Influent	Jarak dari Curugjompong (Km)	Hasil Identifikasi Influen di petakan pada Nomor		No GPS	Koordinat UTM		Nama Influent	Jarak dan Curugjompong (Km)	
		2007	2008			Stasiun	X		Y	2007			2008
7	7	354	804496	9219631	eff. Industri	42.045	113	113	377	787753	9227620	eff. Industri	15.499
12	12	356	801713	9222652	Cisarua	36.331	iff	378	787659	9227576	eff. Industri	15.37	
26	26	369	798603	9226710	Citarik	30.352	114	114	370	787445	9227363	eff. Industri	15.099
27	27	360	790341	9226813	Cikeruh	30.102	115	115	379	787251	9227304	eff. Industri	14.92
35	461	797409	9226571	Selokan	29.147		116	473	786402	9227154	Saluran	14.01	
37	462	796949	9226525	selokan	28.675	117	117	390	785187	9228844	Cicangkudu	12.324	
44	463	796190	9226477	selokan	27.793		120	474	784671	9228000	Saluran	11.274	
47	47	363	795395	9225948	Ciparnokolan	26.943	121	121	381	784923	9225923	Cibokorang	11.186
51	51	364	794681	9225293	Cidurian	25.901	124	124	383	784443	9226453	eff. Industri	10.372
64	64	365	793814	9225178	Ciwastira	24.888	133	133	384	783777	9226434	Cikasungka	8.849
68	68	366	791998	9224728	Cicadas	22.535	143	143	385	782852	9226423	Cikumbuy	8.372
79	79	367	790613	9226393	Cikapundung	20.1	151	151	390	782585	9227293	eff. Industri	6.792
88	88	369	789449	9226543	Cisangkey	19.46		Sal	476	782631	9227376	Saluran	6.69
90	161	789377	9226800	Saluran	18.732	154	154	389	782603	9227467	eff. Industri	6.61	
92	465	789129	9227252	saluran	18.094	156	156	387	781921	9227868	Ciwadley	5.648	
95	468	789408	9227424	Saluran	17.812	158	159	390	781778	9228248	eff. Industri	5.462	
99	368	789290	9227741	Cipakusai	17.45	128	128	391	781671	9228421	eff. Industri	5.315	
100	467	789233	9227971	Saluran	17.28	130	130	392	781477	9228720	eff. Industri	4.89	
101	468	789113	9228116	Saluran	17.114		Sal	478	780713	9228822	Saluran	4.155	
102	469	788889	9228128	Saluran	16.908	134	134	393	780623	9228408	eff. Industri	3.616	
110	110	373	788649	9227830	eff. Industri	16.544	138	138	394	780198	9228842	eff. Industri	2.934
108	108	374	788401	9227806	eff. Industri	16.267		140	476	779507	9230026	Saluran	2.855
109	109	375	788330	9227766	eff. Industri	16.224	152	152	395	780189	9230796	eff. Industri	1.599
110	110	371	788243	9227786	Citepus	16.133	153	153	396	780284	9231324	eff. Industri	0.988
112	112	376	787976	9227549	Cileutik	15.752	157	157	396	780436	9232599	Cimahi	0.19
	112	471	787678	9227591	Saluran	16.728							
Curugjompong												0	

musim kemarau maupun penghujan terlihat paling tinggi frekuensi titik masukan alirannya (Gambar 3). Untuk menjelaskan kecenderungan tersebut, dalam penelitian ini telah dilakukan klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra aster tahun 2007 (Gambar 4).

Area industri yang berada paling dekat dengan tepian Sungai Citarum Hulu adalah sentra 4 dan sentra 5, disamping itu di sepanjang sungai pada ruas tersebut juga telah berkembang area pemukiman (Gambar 4). Sentra-sentra industri dan area pemukiman tersebut apabila diukur dari Curug-



Gambar 3. Frekuensi Kejadian Titik Masukan Aliran Air berdasarkan Jarak dari Curugjompong



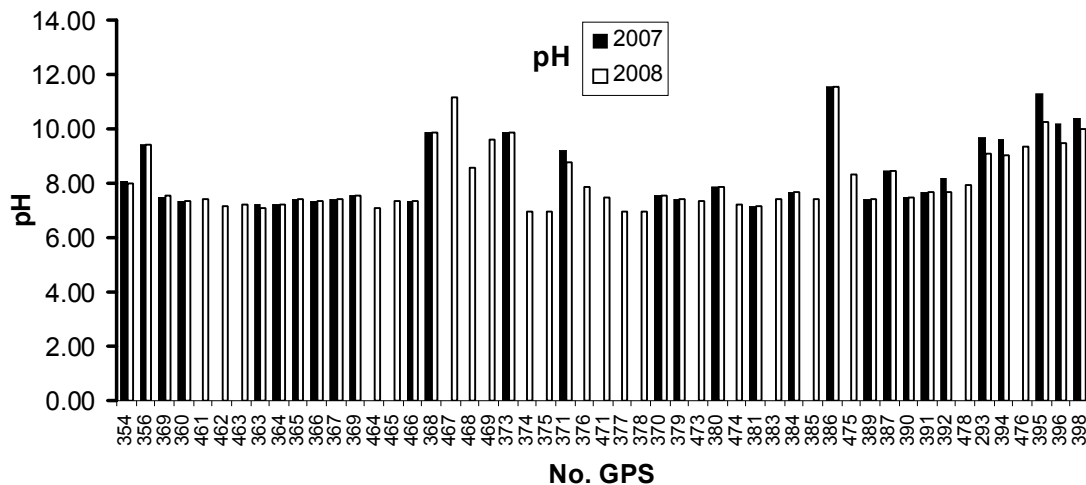
Gambar 4. Hasil Klasifikasi Citra Aster Tahun 2007

jompong ke arah hulu Sungai Citarum, terletak pada Km 0 hingga 20. Maka sepanjang ruas sungai tersebut banyak ditemukan saluran-saluran pembuang ke dalam Sungai Citarum. Dengan demikian pada analisis frekuensi kejadian titik masukan aliran air tersebut, pada Km 0 s/d 20, maka tinggi frekuensi kejadiannya adalah pada ruas antara Km 15 s/d 20.

Berdasarkan hasil pengukuran pH air di titik masukan aliran (Gambar 5), tempat titik-titik masukan aliran airnya yang berasal dari sentra industri cenderung ke arah basa. Menurut Metcalf (1991) limbah industri tekstil cenderung basa. Dengan demikian dapat diperkirakan bahwa, titik-titik masuk-an aliran dari kilometer tersebut berasal dari industri tekstil. Ini jumbuh dengan uraian sebelumnya bahwa industri yang telah berkembang di dalam DAS Citarum Hulu sebagian besar adalah industri tekstil.

pelacakan ini. Meskipun demikian titik-titik yang mempunyai debit yang kecil tersebut, karena jumlahnya lebih banyak maka cukup berpengaruh terhadap kenaikan debit aliran sungai ke arah hilir.

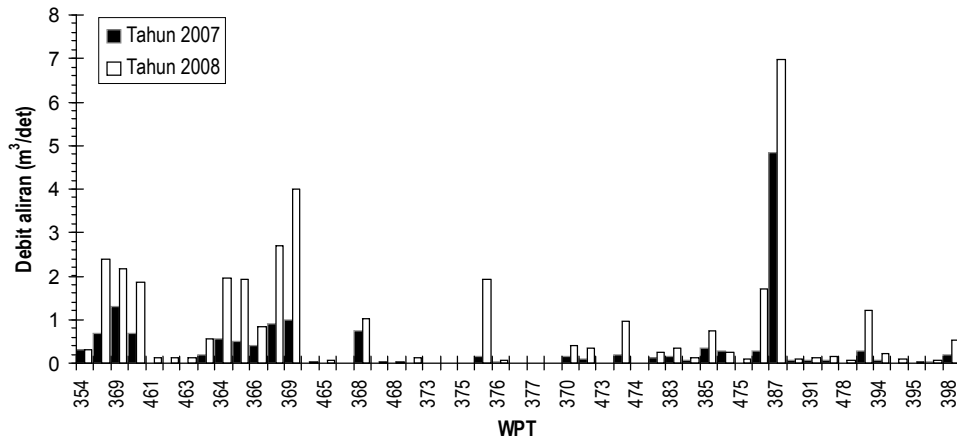
Hasil perhitungan akumulasi debit aliran air titik-titik masukan pada musim kemarau sebesar 15,7 m³/det dan musim penghujan 39,15 m³/det (Gambar 7). Sedangkan debit aliran air stasiun akhir di sungai (sta.XI) pada musim kemarau sebesar 15,1 m³/det dan musim penghujan sebesar 37,3 m³/det. Perbedaan antara hasil perhitungan akumulasi debit aliran air titik-titik masukan dengan debit titik akhir di sungai pada musim kemarau sebesar 3,9% dan musim penghujan 4,9%. Perbedaan tersebut masih di bawah 5%, sehingga masih dalam batas toleransi. Hal ini juga dapat dilihat dalam gambar 6, antara kurva akumulasi debit aliran air masukan dengan debit sungai di sepanjang ruas sungai yang diteliti



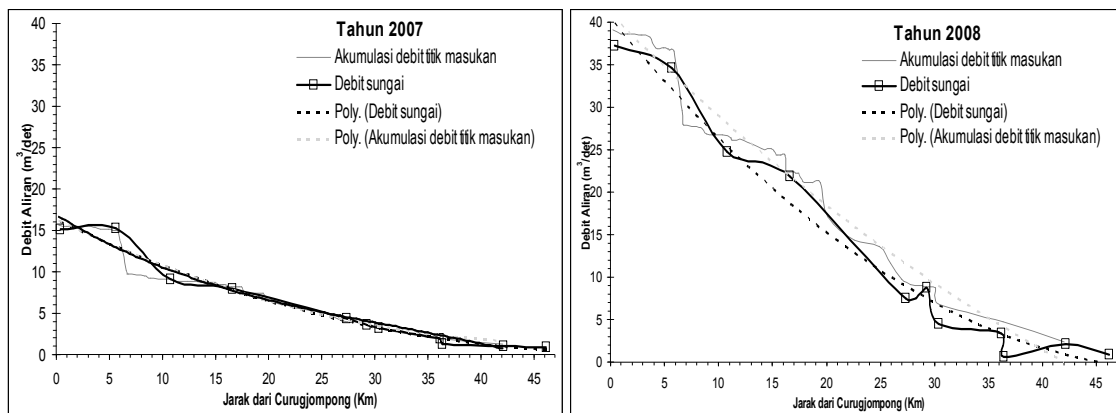
Gambar 5. Hasil Pengukuran pH Air pada Titik-titik Masukan Aliran di Sungai Citarum Hulu

Debit aliran titik-titik masukan bervariasi besarnya (Gambar 6). Titik masukan aliran anak sungai seperti yang telah ditentukan oleh BLH dan PT. Jasa Tirta mempunyai debit aliran yang lebih besar dibandingkan dengan titik-titik lain hasil

mempunyai kecenderungan yang mirip. Ini menunjukkan bahwa hasil pelacakan titik-titik masukan aliran air yang telah dilakukan sudah dapat mempresentasikan distribusi kuantitas aliran air Sungai Citarum ruas Curugjompong sampai dengan Majalaya.



Gambar 6. Hasil Pengukuran Debit Titik Masukan Aliran ke Dalam Sungai Citarum Hulu



Gambar 7. Hubungan Debit Aliran Kumulatif Titik-titik Masukan Aliran Air dan Hasil Pengukuran Debit Aliran Air di Sungai

Melihat kecilnya prosentase perbedaan antara akumulasi debit aliran air titik masukan dan stasiun di sungai tersebut, juga menunjukkan bahwa sumbangan aliran dasar (*base flow*) pada aliran Sungai Citarum Hulu ruas Curugjompong hingga Majalaya sangat kecil bila dibandingkan dengan masukan aliran titik-titik aliran air yang telah diidentifikasi. Dengan demikian dapat dikatakan, bahwa aliran yang terjadi di sungai sangat tergantung (diatur) oleh besarnya aliran dari titik-titik masukan. Hal ini kelihatan sekali pada kondisi aliran sungai di musim kemarau, yang mana kedua kurva (Gambar 6) relatif berhimpitan. Hal ini menjadi penting untuk diperhatikan dalam perencanaan pengelolaan kualitas air

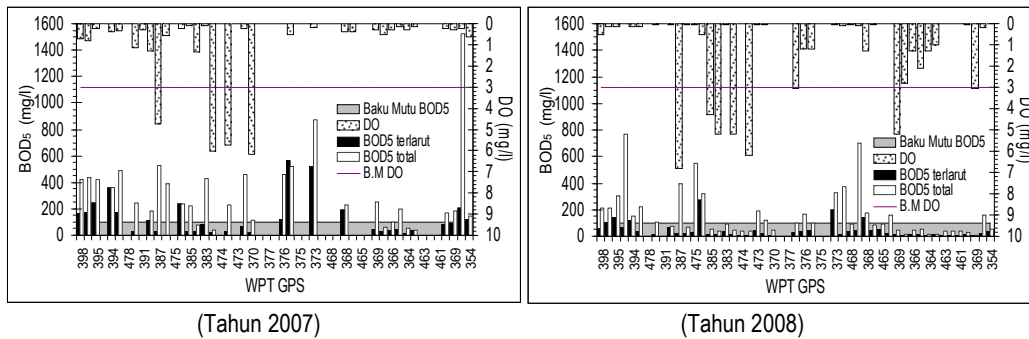
dengan kenaikan debit aliran air minimum (*flow-augmentation*) sungai Citarum Hulu. Untuk menambah aliran air minimum sungai Citarum Hulu, maka kenaikan aliran dasar sangat sulit dapat diharapkan saat ini. Berdasarkan fakta tersebut, maka yang dapat diharapkan dengan kenaikan aliran air minimum dari anak-anak sungainya, atau pengurangan beban pencemar yang disesuaikan dengan kemampuan daya purifikasi Sungai Citarum Hulu.

Hasil analisis BOD di laboratorium atas contoh air yang diambil dari titik masukan aliran air ke dalam Sungai Citarum Hulu disajikan dalam gambar 8. Sedangkan hasil analisis BOD di laboratorium atas contoh air yang diambil dari stasiun-stasiun

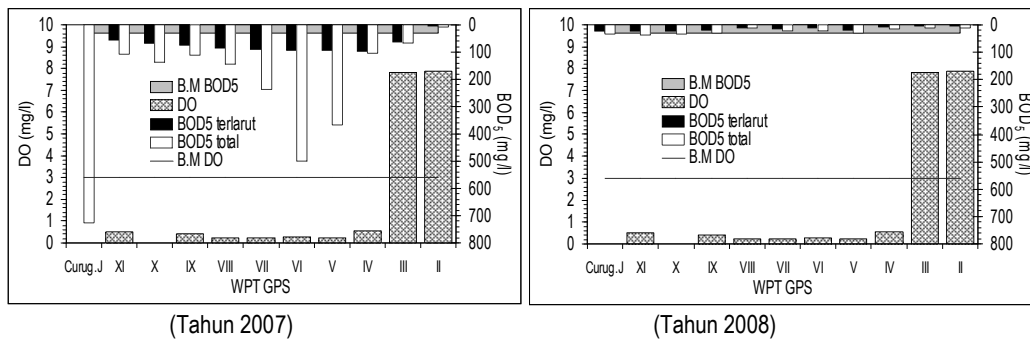
di sungai disajikan dalam gambar 9.

Hasil analisis BOD₅ total di semua titik baik pada musim kemarau maupun musim penghujan, lebih besar dari BOD₅ terlarutnya (Gambar 8; Gambar 9). Perbandingan antara kedua BOD tersebut adalah, pada musim kemarau BOD₅ total = 2,22 BOD₅ terlarut dengan koefisien korelasi, $R^2 = 0,0633$, sedangkan musim penghujan BOD₅ total = 2,75 BOD₅ terlarut dengan koefisien korelasi, $R^2 = 0,0652$.

sebelum dioksidasi. Lamanya proses hidrolisis tersebut tergantung pada kandungan partikulatnya dan resistensi karbon organik partikulat yang ada. Dalam kondisi yang demikian, maka sering terjadi keterlambatan dalam oksidasi. Sehingga selama inkubasi 5 hari, kebutuhan oksigen yang terjadi dari contoh-contoh air yang tidak disaring (BOD₅ total) tidak linear (konsisten) dengan contoh-contoh air yang disaring (BOD₅ terlarut).



Gambar 8. BOD₅ Terlarut dan BOD₅Total serta DO Air di Titik Aliran Masukan



Gambar 9. Hasil Analisis Laboratorium dan Pengukuran Kualitas Air Sungai Citarum Hulu

Melihat koefisien korelasi yang kecil tersebut, dapat dikatakan bahwa antara BOD₅ total dengan BOD₅ terlarut juga mempunyai hubungan yang kecil pula. Hal ini dapat terjadi, karena adanya gangguan partikulat yang menyebabkan tidak konsistennya hasil analisis BOD₅ total di laboratorium. Seperti telah diuraikan dalam pendahuluan, karbon organik terlarut akan dioksidasi langsung dan partikulat akan dihidrolisis oleh bakteri terlebih dahulu

Baku mutu (BM) kualitas air buangan industri yang berlaku apabila diterapkan untuk menilai hasil analisis BOD₅ total dan DO air di titik-titik masukan aliran, maka untuk BOD₅ total airnya 80,6% pada musim kemarau dan 42,2% pada musim penghujan di atas baku mutu (BM. BOD₅ ≤ 100 mg/l) (Gambar 8). Sedangkan untuk DO air 87,1 % pada musim kemarau dan 82,2% pada musim penghujan titik-titik aliran masuk yang telah

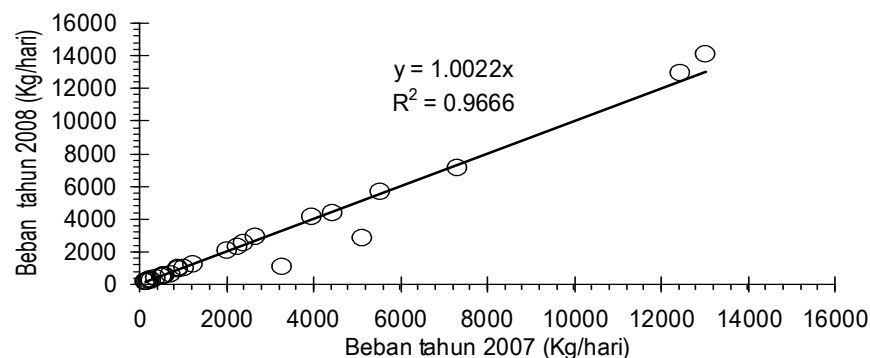
teridentifikasi, kurang dari baku mutu (BM. $DO \geq 3$ mg/l), (Gambar 9).

Melihat besarnya prosentase pencemaran dari baku mutu BOD_5 total, yaitu pada musim penghujan setengahnya musim kemarau, mengindikasikan bahwa peran kenaikan besarnya debit aliran pada musim penghujan dalam pengenceran massa BOD_5 total menjadi faktor yang menentukan pencemaran tersebut. Dengan demikian indikasi tersebut juga menambah kuatnya peran titik-titik masukan aliran air terhadap kondisi air Sungai Citarum Hulu.

Hubungan antara aliran beban BOD_5 terlarut di titik-titik yang telah terlacak pada musim kemarau (tahun 2007) dengan musim penghujan (tahun 2008) cenderung linear (Gambar 10). Ini menunjukkan bahwa, massa BOD_5 terlarut yang terkandung di dalam titik-titik aliran yang telah terlacak, baik pada musim kemarau maupun penghujan sama besarnya dan berasal dari sumber yang sama. Dengan demikian, fakta tersebut lebih menguatkan lagi, bahwa kepekatan konsentrasi BOD di titik-titik masukan aliran tersebut dapat mencemari, tergantung pada besarnya debit aliran karena hujan yang terjadi. Kecenderungan tersebut juga memperkuat dugaan sebelumnya, bahwa kondisi aliran Sungai Citarum Hulu baik kuantitatif maupun kualitatif sangat dipengaruhi oleh titik-titik masukan aliran yang terjadi.

Hubungan antara kurva akumulasi laju massa BOD_5 terlarut titik-titik masukan aliran dengan kurva laju massa BOD_5 terlarut titik-titik di sungai baik pada musim kemarau maupun penghujan pada dasarnya mempunyai kecenderungan yang sama (Gambar 11). Pada saat kurva laju massa BOD_5 terlarut sungai lebih kecil dibanding akumulasi laju massa BOD_5 terlarut titik-titik masukan, maka dapat dilihat konsentrasi DO sungai cenderung turun. Ini berarti pemakaian oksigen untuk proses oksidasi BOD_5 pada ruas tersebut lebih tinggi dari pada asupannya, sehingga kandungan DO air ruas tersebut defisit. Hal ini dikuatkan pada ruas dengan kedua kurva BOD tersebut yang berhimpitan dan DO sungainya cenderung naik. Ini artinya pada ruas ini kecepatan aerasi penghasil DO lebih cepat dari kecepatan oksidasi asupan BOD_5 , sehingga DO sungai cenderung naik. Melihat kemiripan kecenderungan antara dua kurva tersebut, maka dapat dikatakan hasil pelacakan titik-titik masukan aliran yang telah diperoleh dapat sebagai sumber massa BOD_5 yang ada di dalam badan air Sungai Citarum.

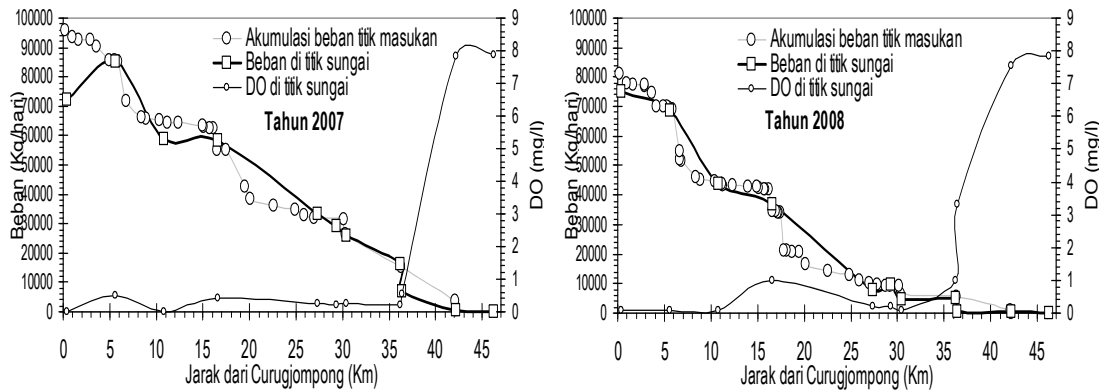
Hasil perhitungan total laju massa BOD_5 terlarut dari titik masukan aliran sebesar 96977,7 kg/hari pada musim kemarau (2007) dan 75047,36 kg/hari pada musim penghujan (2008). Setelah mengalami proses oksidasi di sepanjang ruas



Gambar 10. Hubungan Antara Beban BOD_5 Terlarut Musim Kemarau dan Musim Penghujan

sungai yang diteliti laju beban tersebut tinggal 72155,12 kg/hari pada musim kemarau dan 75047,36 kg/hari pada musim penghujan (2008). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa, total kemampuan pulih diri Sungai Citarum Hulu terhadap asupan beban BOD₅ dari titik-titik masukan aliran yang ada, sebesar 25,6% pada musim kemarau dan 4,3% pada musim penghujan.

- Aliran massa BOD₅ di titik-titik masukan aliran dari Curugjompong ke arus hulu disinyalir sebagian besar berasal dari air limbah industri tekstil.
- Sementara hubungan antara BOD₅ terlarut dengan BOD₅ total dari titik-titik yang telah teridentifikasi tidak mempunyai hubungan yang sistematis.
- Hasil perbandingan dengan Baku mutu



Gambar 11. Hubungan Laju Massa BOD₅ terlarut Kumulatif Titik-titik Masukan Aliran dengan Laju Massa BOD₅ Terlarut dan DO Titik-titik di Sungai

Perbedaan kemampuan pulih diri Sungai Citarum tersebut cukup besar. Pada musim penghujan debit aliran akan meningkat (Gambar 6), menyebabkan waktu perjalanan suatu material mengikuti arus sungai juga akan meningkat, dilain pihak waktu tinggal material dalam ruas sungai akan berkurang. Hal yang demikian itu telah menyebabkan lama proses degradasi juga semakin singkat, sehingga daya pulih diri Sungai Citarum Hulu pada musim penghujan menjadi lebih kecil dibandingkan pada musim kemarau.

KESIMPULAN

- Terdapat 36 titik pada musim kemarau dan 51 titik pada musim penghujan yang menjadi sumber masukan aliran massa BOD₅ yang menyebabkan defisit oksigen terlarut di dalam badan air Sungai Citarum hulu.

kualitas air limbah industri, 80,6% pada musim kemarau dan 42,2% pada musim penghujan dari titik-titik yang telah ditemukan airnya telah tercemar oleh BOD₅.

- Hasil analisis hubungan antara laju massa BOD₅ terlarut musim kemarau dengan musim penghujan dari titik-titik yang telah teridentifikasi menunjukkan bahwa, massa BOD₅ terlarut yang terkandung di dalam titik-titik aliran yang telah ditelusuri baik pada musim kemarau maupun penghujan sama besarnya dan disinyalir berasal dari sumber yang sama.
- Hasil analisis neraca asupan BOD₅ terlarut dari titik-titik yang telah ditemukan dengan sisa massa BOD₅ terlarut di air sungai, maka total kemampuan pulih sendiri sungai Citarum Hulu sebesar 25,6% pada musim kemarau dan 4,3% pada musim penghujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Thomann R.T., 1987, Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper & Row, Publishers, New York.
- Tim Pelaksana Program kali bersih Propinsi D.T. I Jawa Barat, 1993, Laporan Tahap IV (1992-1993) Program kali Bersih Propinsi D.T. I Jawa Barat.
- Bukit Nana Terangna, 1995, Water Quality Conservation for the Citarum River in west Java, Wat.Sci.Tech. Vol.31 No. 3 pp 1-10 Pergamon.
- Wanielista M., 1990, Hydrology and Water Quality Control, John Wiley & Son, New York.
- Chapra S.C., 1997, Surface Water-Quality Modeling, The McGraw-Hill Companies. Inc, New York.
- Chapra S.C., 2006, Qual2K : A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.04) : Documentation and User Manual, Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- APHA, 1995, Standard Method for the Examination of Water and Wastewater,-----, America Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington DC.
- Bukit N.T., & I.A. Yusuf, 2002, Beban Pencemaran Limbah Industri dan Status Kualitas Sungai Citarum, J. Teknologi Lingkungan, 3(2), 98 – 106.
- Metcalf & Eddy, 1991, Wastewater Engineering, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Salim H., 2002, Beban Pencemaran Limbah Domestik dan Pertanian Di DAS Citarum, J. Teknologi Lingkungan, 3(2), 107-111.
- Eko H., 2004, Profil Kandungan Karbon Organik dan Nitrogen Nir-Organik Air Sungai Citarum Hulu, J. Limnotek XI (2), 9 – 19.
- Tim Prokasih, 2007, Laporan Kegiatan Pengendalian Pencemaran Air Melalui Prokasih Tahun Anggaran 2007, Pemerintah Propinsi Jawa Barat.
- Wangsaatmadja S., 2007, Evaluasi Kebijakan Pengendalian Pencemaran Sungai Citarum Hulu Melalui Pendekatan Daerah Aliran Sungai Terpadu, J. Infrastruktur dan Lingkungan Binaan, 3(2), 68 – 79.