Bidang Unggulan: Penelitian Lingkungan
(Kode/Nama Rumpun Ilmu):422/ Teknik Lingkungan

LAPORAN TAHUN TERAKHIR
PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI

PARAMETER PEMENGARUH NILAI LAJU DEOKSIGENASI AIR SUNGAI URBAN DALAM RANGKAIAN PROSES *SELF PURIFICATION*

Tahun ke-2 dari rencana 2 tahun

TIM PENGUSUL

Dr. Yonik Meilawati Yustiani, ST., MT. (NIDN: 0403057003)
Dr. Mia Nurkanti, M.Kes. (NIDN: 0018016102)
Ir. Neneng Suliasih, MP. (NIDN: 0408076002)

Dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riste dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi sesuai Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018
No. dan Tanggal DIPA: SP DIPA-042.06.1.1401516/2018, tanggal 05 Desember 2017
No dan Tanggal Kontrak : 0799/K4/KM/2018, tanggal 12 Februari 2018
Nomor : 175/UNPAS.R/Q/IV/2018

UNIVERSITAS PASUNDAN
NOVEMBER 2018

HALAMAN PENGESAHAN

Judul	: Parameter Pemengaruh Nilai Laju Deoksigenasi Air Sungai Urban Dalam Rangkaian Proses Self Purification
Peneliti/Pelaksana	
Nama Lengkap	: Dr YONIK MEILAWATI YUSTIANI, S.T, M.T
Perguruan Tinggi	: Universitas Pasundan
NIDN	: 0403057003
Jabatan Fungsional	: Lektor Kepala
Program Studi	: Teknik Lingkungan
Nomor HP	: 081573231561
Alamat surel (e-mail)	: yonik@unpas.ac.id
Anggota (1)	
Nama Lengkap	: Dr. Dra MIA NURKANTI M.Kes
NIDN	: 0018016102
Perguruan Tinggi	: Universitas Pasundan
Anggota (2)	
Nama Lengkap	: Ir NENENG SULIASIH M.P
NIDN	: 0408076002
Perguruan Tinggi	: Universitas Pasundan
Institusi Mitra (jika ada)	
Nama Institusi Mitra	: -
Alamat	: -
Penanggung Jawab	: -
Tahun Pelaksanaan	: Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan	: Rp 130,000,000
Biaya Keseluruhan	: Rp 280,000,000

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Pasundan

(Dr. Ir. Yusman Taufik, MS.)
NIP/NIK 15110230

Kota Bandung, 7 - 11 - 2018
Ketua,

(Dr YONIK MEILAWATI YUSTIANI, S.T, M.T)
NIP/NIK 15110235

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian Universitas Pasundan

(Dr. Hj. Erni Rusyani, S.E., M.M.)
NIP/NIK 196202031991032001

RINGKASAN

Proses deoksigenasi merupakan proses penting dalam upaya sungai melakukan *self purification*, yaitu mendegradasi polutan organik jenis *bio-degradable*agar sungai kembali bersih. Kecepatan proses deoksigenasi berdampak pada cepat atau lambatnya *self purification* berlangsung. Penelitian mengenai deoksigenasi sangat jarang dilakukan di Indonesia. Nilai laju deoksigenasi yang diperoleh dari penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa nilai laju deoksigenasi sungai urban relatif rendah. Rendahnya nilai laju deoksigenasi mengakibatkan pula sulitnya sungai kembali menjadi bersih, proses *self purification* menjadi lambat. Polutan penghambat proses tersebut dapat dihentikan dari sumbernya, dan proses *self purification* dapat ditingkatkan di badan air tersebut. Penyebab rendahnya laju ini perlu diketahui secara detail untuk memperbaiki kondisi kualitas sungai. Oleh sebab itu, penelitian ini perlu dilakukan agar parameter penghambat proses *self purification* dapat diatasi sehingga kualitas air sungai dapat diperbaiki. Parameter tersebut diteliti melalui proses pengambilan sampel air sungai diwakili oleh Sungai Cikapundung dan Sungai Citarum sebagai sungai urban. Sampel air tersebut dianalisis untuk memperoleh kandungan fisika, kimia, dan biologinya. Laju deoksigenasi juga disimulasikan secara laboratorium menggunakan metode perhitungan oksigen terlarut harian dan metode Thomas' Slope. Uji biokimia dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan mikroorganisme dekomposer yang terkandung dalam air sungai tersebut. Hasil analisis dan simulasi laboratorium akan diolah untuk memperoleh parameter dominan pemengaruh laju deoksigenasi di sungai urban. Pengolahan hasil memperlihatkan hubungan antara tiap parameter terhadap laju deoksigenasi yang terjadi. Berdasarkan penelitian tahun kedua ini, dapat dilihat bahwa kondisi perairan Sungai Citarum tercemar limbah domestik dan non-domestik. Bukan hanya materi organik biodegradable, namun juga materi organik non-biodegradable. Mikroorganisme yang terdapat pada perairan adalah jenis Clostridium sp, Kultur Jamur. Terdapat pula Coliform dalam jumlah melebihi baku mutu. Tidak terdapat kandungan logam berat yang dapat mempengaruhi proses degradasi pencemar oleh mikroorganisme. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa proses self purification lambat terjadi akibat keberadaan pencemar berupa MBAS atau kandungan deterjen dari proses pencucian baju.

Kata kunci: laju deoksigenasi, *self purification*, sungai urban

PRAKATA

Air merupakan benda esensial yang harus dijaga, baik secara kualitas, mapun kuantitas. Di perkotaan terutama, yang tingkat polusinya tinggi akibat padatnya penduduk dan manajemen pengelolaan lingkungannya yang lemah, mengakibatkan sungai, sebagai salah satu sumber air baku air minum menjadi rusak kualitasnya.

Penelitian ini dilakukan sebagai salah satu upaya pengelolaan lingkungan perairan yang terdapat di sungai urban. Laporan kemajuan ini dibuat sebagai tampilan hasil sementara tahun pertama untuk judul ”Parameter Pemengaruh Nilai Laju Deoksigenasi Air Sungai Urban dalam Rangkaian Proses *Self Purification*”.

Kami berterima kasih kepada pihak DRPM Kemenristekdikti yang telah mendanai penelitian ini, juga kepada civitas akademika Universitas Pasundan, termasuk dekanat FT, serta jajaran pejabat dan dosen serta karyawan Teknik Lingkungan. Tidak lupa kami informasikan bahwa penelitian ini juga melibatkan mahasiswa secara aktif, dan kami menempatkan Sdr. Ammar Maulud sebagai asisten peneliti pada penelitian ini.

Akhirul kalam, kami sangat menghargai seluruh pihak yang telah berikhtiar maksimal dalam mewujudkan Laporan Akhir Penelitian Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi ini. Semoga ilmu yang amaliah dan amal yang ilmiah yang kita wujudkan dalam proses penyusunan laporan ini diridhoi oleh Allah SWT.

Bandung, 8 November 2018

Yonik Meilawati Yustiani

Ketua Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i
RINGKASAN ii
PRAKATA iii
DAFTAR ISI iv
DAFTAR TABEL v
DAFTAR GAMBAR vi
DAFTAR LAMPIRAN vii

BAB 1. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Tujuan Khusus 2
1.3 Urgensi Penelitian 2

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA 3
2.1 *Self Purification* 3
2.1.1 Laju Deoksigenasi 4
2.1.2 Laju Reaerasi 5
2.2 Karakteristik Umum Sungai Urban 6
2.3 Mikroorganisme Pengurai 7
2.4 *State of the Art* Penelitian dan Peta Jalan Penelitian 7

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN 10

BAB 4. METODE PENELITIAN 11
4.1 Framework Penelitian 11
4.2 Lokasi Objek Penelitian 11
4.3 Pengumpulan Data 12
4.4 Analisis Laboratorium 12

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI 14
5.1 Data Kualitas Air Sungai Citarum Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 14
5.2 Data Kualitas Air Sungai Citarum Menurut Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Tahun 2015 15
5.3 Debit dan Kualitas Air Sungai 15
5.4 Perhitungan Laju Deoksigenasi Menggunakan Analisis Laboratorium 16
5.5 Perhitungan Laju Deoksigenasi Menggunakan Rumus Empiris 30
5.6 Analisis Terhadap Nilai Laju Deoksigenasi di Beberapa Sungai 32
5.7 Capaian Luaran Publikasi 33

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN 35
DAFTAR PUSTAKA 36
LAMPIRAN 38
- Personalia tenaga pelaksana beserta kualifikasinya
- Artikel Ilmiah

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Metode analisis laboratorium untuk parameter fisika dan kimia 13
Tabel 2. Data Kualitas Air Sungai Citarum 14
Tabel 3. Hasil Perhitungan Debit Sungai 15
Tabel 4. Nilai Pemeriksaan Parameter Di Lapangan 16
Tabel 5. Akumulasi DO Loss Titik Hulu 1 17
Tabel 6. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hulu 1 18
Tabel 7. Akumulasi DO Loss Titik Hulu 2 19
Tabel 8. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hulu 2 20
Tabel 9. Akumulasi DO Loss Titik Hulu 3 21
Tabel 10. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hulu 3 22
Tabel 11. Akumulasi DO Loss Titik Hilir 1 23
Tabel 12. Hasil Perhitungan y’, y’y, dan y^2 Titik Hilir 1 24
Tabel 13. Akumulasi DO Loss Titik Hilir 2 25
Tabel 14. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hilir 2 26
Tabel 15. Akumulasi DO Loss Titik Hilir 3 28
Tabel 16. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hilir 3 28
Tabel 17. Nilai Laju Deoksigenasi dan BOD Ultimate Dengan Menggunakan Analisis Laboratorium 30
Tabel 18. Nilai Laju Deoksigenasi Dengan Menggunakan Rumus Empiris 31
Tabel 19. Jadwal pelaksanaan penelitian tahun 2018 35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Kurva oxygen sag (Trinivas, 2008)	4
Gambar 2.	Peta jalan penelitian mengenai pengelolaan kualitas air sungai urban.	9
Gambar 3.	Rangkaian penelitian pengelolaan air sungai urban.	11
Gambar 4.	Gambar 4. Peta DAS Citarum dan titik sampling	12
Gambar 5.	Akumulasi DO Loss Hulu 1	17
Gambar 6.	Akumulasi DO Loss Hulu 2	20
Gambar 7.	Akumulasi DO Loss Hulu 3	22
Gambar 8.	Akumulasi DO Loss Hilir 1	24
Gambar 9.	Akumulasi DO Loss Hilir 2	26
Gambar 10.	Akumulasi DO Loss Hilir 3	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Publikasi di Jurnal Internasional Nama Jurnal: International Journal of Geomate (Q2) Status: published

Lampiran 2. Publikasi di Jurnal Internasional Nama Jurnal: Rasayan (Q3) Status: published

Lampiran 3. Sebagai pemakalah di temu ilmiah internasional Nama temu ilmiah: Science, Engineering and Environment, Status : Accepted

Lampiran 4. Buku Ajar, Nama buku: Pemodelan Kualitas Air Sungai, Status: draft

Lampiran 5. Paten sederhana. Nama Paten: Metode Penentuan Laju Deoksigenasi Sungai Urban

Lampiran 6. Invited Speaker. Nama Conference: International Conference Research Collaboration

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsentrasi oksigen terlarut (DO) merupakan salah satu parameter utama yang digunakan sebagai indikator kualitas air permukaan (Sarkar and Pandey, 2015). Oksigen digunakan oleh biota dalam kehidupannya, sehingga parameter ini menjadi penting diperhatikan dalam upaya pemeliharaan kualitas sungai. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) memiliki hubungan yang kuat dengan DO karena mengindikasikan kebutuhan oksigen untuk menguraikan materi organik dalam perairan. Oleh sebab itu, BOD menjadi faktor penting pula untuk mengevaluasi tingkat pencemaran materi organik di sungai (Siwiec, et. al, 2011). Deoksigenasi adalah proses penurunan jumlah oksigen yang terjdi akibat penggunaan oksigen oleh mikroorganisme untuk menguraikan pencemar yang masuk ke dalam badan perairan (Kumarasamy, 2015). Proses deoksigenasi merupakan proses penting dalam upaya sungai melakukan *self purification*, yaitu mendegradasi polutan organik jenis *bio-degradable*agar sungai kembali bersih. Kecepatan proses deoksigenasi berdampak pada cepat atau lambatnya *self purification* berlangsung. Nilai laju deoksigenasi juga merupakan satu suku penting dalam persamaan Streeter-Phelps yang selalu digunakan untuk memodelkan kualitas air sungai. Nilai laju deoksigenasi dapat bersifat spesifik jika berada pada area dengan temperatur yang berbeda. Selain itu, kualitas sungai, keberadaan materi dan polutan pada sungai akan mempengaruhi laju deoksigenasi. Penelitian mengenai deoksigenasi sangat jarang dilakukan di Indonesia. Oleh sebab itu pada tahun 2008 penelitian mengenai laju urai BOD dan deoksigenasi ini dilakukan menggunakan berbagai metode. Metode paling akurat dalam penentuan laju deoksigenasi ini adalah dengan menginkubasi sampel selama 10 hari dengan pengukuran harian konsentrasi oksigen yang dilanjutkan dengan pengolahan data secara statistik. Nilai laju deoksigenasi yang diperoleh dari penelitian terdahulu berkisar antara 0,09-0,42 per hari untuk Sungai Citepus (Yustiani, 2013); 0,0233-0,1622 per hari untuk Sungai Cikapundung dan Citepus pada musim kemarau (Yustiani, 2012); 0,01 to 0,37 per hari untuk Sungai Cikapundung secara umum (Yustiani, 2015). Dari penelitian tersebut, diperoleh bahwa nilai laju deoksigenasi relatif rendah. Rendahnya nilai laju deoksigenasi ini mengakibatkan sungai sulit kembali bersih jika terjadi pencemaran organik. Penyebab rendahnya laju ini perlu diketahui secara detail untuk memperbaiki kondisi kualitas sungai.

1.2 Tujuan Khusus

Penelitian mengenai parameter pemengaruh nilai laju deoksigenasi di sungai urban ini memiliki tujuan khusus sebagai berikut:

- Mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi proses deoksigenasi di sungai urban
- Memperoleh hubungan antara kualitas air dilihat dari kategori non-biodegradable polutan dengan laju deoksigenasi yang terjadi
- Mendapatkan jenis-jenis mikroorganisme yang terkandung dalam sungai urban, dikaitkan dengan proses degradasi materi organik yang terkandung dalam air sungai
- Menemukan konsentrasi tiap parameter pemengaruh terhadap proses degradasi materi organik dalam rangkaian proses *self purification* di sungai urban

1.3 Urgensi Penelitian

Salah satu poin penting dalam Rensta penelitian Universitas Pasundan adalah peningkatan mutu penelitian dosen dengan penelitian unggulan di bidang lingkungan. Penelitian terdahulu mengenai laju deoksigenasi telah dimulai dan memperoleh beberapa hasil spesifik untuk kondisi sungai di perkotaan. Hasil penelitian ini masih meninggalkan beberapa pertanyaan yang perlu dijawab secara tuntas agar dapat diaplikasikan dalam rangkaian kegiatan perbaikan kualitas air sungai urban. Selain itu, upaya peningkatan dan mempertajam penelitian ini dapat membuka potensi kerjasama dengan pengguna pemodelan baik dari pemerintahan maupun pemangku kebijakan lainnya untuk merumuskan rekomendasi pengelolaan sungai urban.

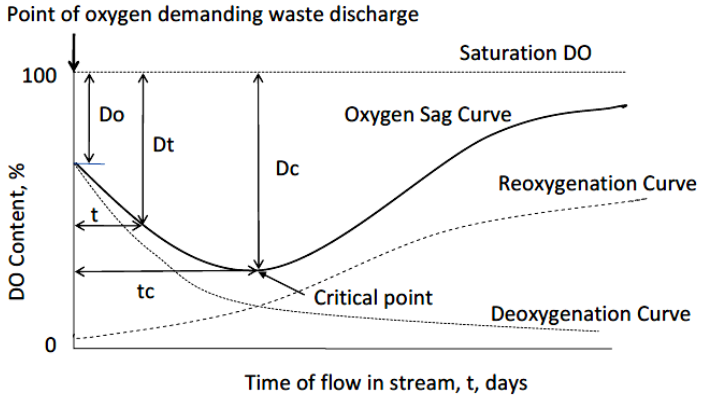
Nilai laju deoksigenasi dapat menggambarkan karakteristik polutan yang mencemari sungai. Selain itu, laju ini menjadi koefisien penting pada simulasi kualitas air sungai. Biasanya, proses simulasi dilakukan menggunakan koefisien yang diperoleh dari literatur asing (Hendriarianti dan Karnaningroem, 2015). Penggunaan nilai yang tidak sesuai dapat mengakibatkan hasil pemodelan yang tidak sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Lebih jauh lagi, ketidaksesuaian nilai yang dipakai dapat mengakibatkan perumusan pengendalian dan pengelolaan kualitas sungai menjadi tidak tepat atau bahkan salah kelola.

Rendahnya nilai laju deoksigenasi mengakibatkan pula sulitnya sungai kembali menjadi bersih, proses *self purification* menjadi lambat. Penelitian ini perlu dilakukan agar parameter penghambat proses self purification dapat diatasi sehingga kualitas air sungai dapat diperbaiki. Polutan penghambat proses tersebut dapat dihentikan dari sumbernya, dan proses *self purification* dapat ditingkatkan di badan air tersebut.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Self Purification*

Self purification secara biologis adalah peristiwa terurainya materi organik oleh mikroorganisme menjadi produk akhir yang stabil. Proses oksidasi biokimia ini menghasilkan produk berupa karbon diokida (CO_2), air, fosfat, dan nitrat (Whitehead, 1982). Perubahan konsentrasi oksigen dalam air tercemar dari waktu ke waktu dapat dikaji menggunakan kurva *oxygen sag* (Von-Sperling, 2014 dari Menezes, dkk., 2015). Estimasi laju deoksigenasi merupakan hal yang penting untuk memilih kurva terbaik yang merepresentasikan kondisi sungai yang sebenarnya.



Gambar 1. Kurva *oxygen sag* (Trinivas, 2008).

Selisih konsentrasi DO di tiap lokasi di sungai adalah hasil dari berbagai proses yang terjadi di bagian hulu, antara lain deoksigenasi, reaerasi, foto sintesis, respirasi, kebutuhan oksigen sedimen, suhu air, dan limbah (Sarkar dan Pandey, 2015). Ketika materi organik dalam perairan sedikit, maka kebutuhan oksigen akan kecil pula, sehingga proses aerasi akan meningkatkan konsentrasi oksigen. Namun apabila konsentrasi materi organik terlalu tinggi dan secara kontinyu mencemari sungai, maka aerasi tidak akan cukup untuk mendukung proses self purification secara alamiah (Harsono dan Nomosatryo, 2010).

Proses *self purification* diformulasikan menjadi suatu persamaan yang digunakan dalam pemodelan kualitas air dalam perhitungan konsentrasi DO oleh Streeter-Phelps pada tahun 1925 (US Public Health, 1925).Persamaan Streeter-Phelps untuk t = 0 dan D = D_o maka dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$D = Do.e^{\frac{-ka}{u}x} + \frac{Kd.Lo}{Ka - Kr}\left[e^{-\frac{kr}{u}x} - e^{-\frac{ka}{u}x}\right]$$

(Pers. 1)

dimana :

D = Defisit oksigen terlarut pada saat t, (mg/l)

x = Jarak titik pengamatan (km)

u = Kecepatan rata-rata (m/det)

K_d = koefisien deoksigenasi ($hari^{-1}$)

K_a = koefisien reaerasi ($hari^{-1}$)

K_r = Total Penyisihan ($hari^{-1}$)

L_o = konsentrasi BOD limpasan (t = 0),(mg/l)

D_o = Defisit oksigen awal pada titik pembuangan (t = 0), (mg/l)

2.1.1 Laju Deoksigenasi

Oksigen di suatu badan air dapat berkurang akibat adanya oksidasi bakteri terhadap bahan organik tersuspensi dan terlarut yang berasal dari sumber alam / sumber kegiatan manusia. Penetuan laju deoksigenasi dapat dilakukan menggunakan beberapa metode, yaitu metode Thomas, metode Fujimoto, metode *rapid ratio*, metode moment, metode grafis Lee, metode logarithms difference, metode least square, dan metode daily difference (Adewumi, dkk., 2005). Metode-metode tersebut menggunakan data harian DO dari sampel air yang diinkubasi selama 10 hari.

Beberapa penelitian penentuan laju deoksigenasi telah dilakukan di negara lain menggunakan berbagai metode antara lain kajian lapangan, kalibrasi model, dan percobaan di laboratorium. Salah satu penelitian yang menggunakan kajian di lapangan adalah Bhargava (1983) dengan Sungai Ganga dan Yamura (India) sebagai wilayah studi. Nilai koefisien laju urai BOD yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah 3,5-5,6 /hari (laju total penguraian) untuk Sungai Ganga, dan 1,4 /hari untuk Sungai Yamura. Kajian di lapangan relatif sulit dilakukan untuk daerah perkotaan karena pencemar masuk ke dalam sungai dalam bentuk menyerupai pencemaran garis, sementara untuk mendapatkan nilai laju deoksigenasi di lapangan, proses urai pencemar hanya dapat ditentukan dengan baik apabila pencemar yang masuk tidak terganggu oleh pembuangan limbah di arah hilirnya.

Demikian pula dalam metode penentuan laju deoksigenasi menggunakan kalibrasi model. Penelitian yang telah dilakukan menggunakan metode ini antara lain oleh Crain dan Malone (1982) untuk Sungai Gray's Creek (Lousiana, Amerika) dengan hasil 1,44/hari. Pada metode ini, rangkaian data lapangan harus menjadi acuan proses kalibrasi. Data yang dapat digunakan juga sesuai dengan syarat seperti dengan kajian lapangan.

Nilai laju urai BOD untuk beberapa sungai di negara lain adalah 0,14 – 0,27 $hari^{-1}$untuk Ravi River, Pakistan (Haider, dkk., 2010), 0,23 $hari^{-1}$untuk Swan River, Western Australia (Kurup, dkk. 2002), 0,45 $hari^{-1}$untuk Gomti River, India (Jha, dkk. 2008). Beberapa sungai tersebut memiliki nilai laju deoksigenasi yang bervariasi dengan orde 1/10. Nilai ini memperlihatkan bahwa aktivitas penguraian materi organik oleh mikroorganisme relatif tinggi. Sedangkan nilai laju urai BOD di Sungai Cikapundung dan Sungai Citepus relatif rendah, yaitu orde 1/100. Pengukuran pertama di Sungai Cikapundung Hilir menunjukkan orde 1/10, namun pengukuran selanjutnya baik di Sungai Cikapundung maupun Sungai Citepus memiliki orde 1/100 (Yustiani, 2012).

Penelitian yang ditujukan untuk mengidentifikasi parameter penyebab rendahnya nilai laju deoksigenasi di sungai-sungai urban masih belum pernah dilakukan, terutama dengan karakteristik yang tipikal terdapat di Indonesia. Pada penelitian kali ini, selain dilakukan penetuan laju deoksigenasi, karakter pencemar non-biodegradable, baik yang bersifat organik maupun yang non organik akan diidentifikasi. Kondisi mikroorganisme dekomposer juga akan diteliti baik jenis maupun jumlahnya. Data yang diperoleh dari penelitian ini dapat berguna dalam pemilihan koefisien laju deoksigenasi untuk keperluan simulasi kualitas air sungai dan formulasi kebijakan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS).

2.1.2 Laju Reaerasi

Sumber penambahan oksigen ke dalam badan air dihasilkan dari reaerasi atmosfer. Proses penambahan oksigen dalam hal ini didasarkan pada transfer gas dari udara ke dalam air melalui permukaan. Transfer gas merupakan proses kimia fisik yang terjadi terus menerus pada permukaan antara gas dan cairan. Gerakan cepat memungkinkan molekul oksigen menembus permukaan, dan menghasilkan transfer gas dari udara ke dalam air. Secara simultan beberapa molekul oksigen terlarut lepas ke atmosfer melalui permukaan. Gerakan kedua arah tersebut berlangsung pada laju masing – masing yang ditentukan oleh temperatur dan variabel lain.

Bila tidak ada penggunaan oksigen proses ini mencapai keseimbangan dinamik dengan laju transfer oksigen dari udara ke air sama dengan laju transfer oksigen pada arah sebaliknya. Hal ini akan menghasilkan konsentrasi oksigen yang tetap di dalam air pada kondisi jenuh. Persamaan 2 memperlihatkan formula untuk menghitung koefisien reaerasi (Thomann, 1987).

$$r_R = K_2 (C_s – C) \qquad \text{(Pers. 2)}$$

dimana :

r_R = koefisien reaerasi

K_2 = laju reaerasi permukaan, d^{-1} (dasar e)

C_s = konsentrasi oksigen jenuh, (mg/l)

C = konsentrasi oksigen terlarut (mg/l)

Koefisien transfer oksigen pada air alam bergantung kepada (Thomann, 1987):

- pencampuran internal dan turbulensi akibat gradien kecepatan dan fluktuasi
- temperatur
- angin
- air terjun, bendungan
- film permukaan

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan harga Ka adalah menggunakan model yaitu rumus menurut O'Conner and Dobbins untuk aliran normal dapat dilhat pada Persamaan 3 (Thomann, 1987).

$$\mathbf{K_a = 3{,}93}\frac{Urata-rata^{0,5}}{Hrata-rata^{1,5}} \qquad \text{(Pers. 3)}$$

Dimana :

K_a = Koefisien reaerasi ($hari^{-1)}$

U = kecepatan rata-rata (m/dt)

H = kedalaman rata-rata (m)

2.2 Karakteristik Umum Sungai Urban

Hampir seluruh sungai urban di perkotaan Indonesia mengalami pencemaran. Kota Bandung, sebagai ibukota Provinsi Jawa Barat dilalui oleh 46 sungai. Berdasarkan hasil monitoring BPLH (Badan Pengelola Lingkungan Hidup) Kota Bandung, seluruh sungai yang melalui Kota Bandung mengalami pencemaran berat dilihat dari nilai indeks mutu STORET yang membandingkan dengan baku mutu.

Prediksi timbulan air limbah dari masyarakat di sekitar Sungai Cikapundung pada tahun 2020 kurang lebih 1.172 m3 per hari. Sekitar 88% tempat tinggal tersebut memiliki fasilitas kamar mandi dan kakus, namun tidak dilengkapi dengan tangki septic (Djouffan dan

Mukhsin, 2003). Citarum sebagai muara aliran Sungai Cikapundung dan sungai-sungai lainnya yang melalui Kota Bandung mengalami pencemaran yang lebih buruk lagi. Air limbah industri tekstil dapat berasal diantaranya dari proses pencelupan dan pencapan. Proses tersebut menggunakan zat pewarna tekstil, di mana zat pewarna tekstil yang paling dominan digunakan adalah pewarna azo/ azo dyes. Air limbah yang mengandung azo dyes diolah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) milik perusahaan, untuk kemudian dibuang ke Sungai Citarum (Suhendra, dkk, 2013).

Kualitas sungai perkotaan secara berkala dipantau untuk dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku sesuai dengan peruntukannya. Terdapat beberapa parameter pencemar yang tidak diukur secara detail karena tidak distandarkan dalam baku mutu. Walaupun demikian parameter tersebut memiliki keterkaitan dengan kemampuan sungai dalam proses *self-purification*.

2.3 Mikroorganisme Pengurai

Mikroorganisme pengurai merupakan kelompok mikroorganisme yang mampu mendekomposisi organisme lain yang telah mati menjadi unsur-unsur penyusunnya yang akan kembali ke lingkungan. Kelompok mikroorganisme ini menguraikan protein, karbohidrat dan senyawa organik lain menjadi karbon dioksida (CO2), gas amoniak, dan senyawa-senyawa lain yang lebih sederhana. Mikroorganisme pengurai yang terdapat di perairan didominasi dengan jenis bakteri.

Mikroorganisme sangat penting dalam proses ekosistem di perairan dan lingkungan perairan, namun kajian dan penelitian mengenai komunitas mikroorganisme ini masih sedikit; dalam ekosistem perairan, jamur dan bakteri memegang peranan kritis untuk mengurai tumbuhan dan melepaskan energi serta nutrient untuk tingkat tropik yang lebih tinggi di rantai makanan (Harrop, 2009).

2.4 *State of the Art* Penelitian dan Peta Jalan Penelitian

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, diperoleh bahwa nilai laju deoksigenasi di sungai urban sangat rendah disertai dengan kualitas air yang buruk. Nilai laju deoksigenasi yang diperoleh dari penelitian terdahulu berkisar antara 0,09-0,42 per hari untuk Sungai Citepus (Yustiani, 2013); 0,0233-0,1622 per hari untuk Sungai Cikapundung dan Citepus pada musim kemarau (Yustiani, 2012); 0,01 to 0,37 per hari untuk Sungai Cikapundung secara umum (Yustiani, 2015). Dari penelitian tersebut, diperoleh bahwa nilai laju deoksigenasi relatif rendah. Kondisi ini mengakibatkan proses *self purification* tidak berjalan dengan baik.

Laju deoksigenasi di Sungai Brantas Hulu memperlihatkan nilai yang relatif rendah juga, yaitu 0,019-0,046 per hari (Hendriarianti, 2015). Dikemukakan dalam penelitian tersebut bahwa nilai laju deoksigenasi yang rendah **mungkin** terjadi akibat kondisi sungai yang turbulen. Kondisi aliran sungai di perkotaan sangat berfluktuasi. Turbulen terjadi jika sungai memiliki debit yang besar dengan kemiringan cukup tinggi. Turbulensi tidak selalu terjadi di aliran sungai urban, terutama dengan tingkat kedap permukaan yang besar. Selain itu turbulensi akan meningkatkan jumlah oksigen terlarut dalam air dan akan mempermudah proses deoksigenasi. Secara umum, proses deoksigenasi dan *self-purification* juga banyak dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme air sungai dalam menguraikan zat organik.

Penelitian detail mengenai penyebab rendahnya nilai laju deoksigenasi pada sungai urban masih belum dilakukan. Kondisi mikroorganisme pengurai yang terdapat pada sungai urban juga belum diteliti. Ketidakoptimalan kerja mikroorganisme pengurai juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi proses *self purification* di sungai. Oleh sebab itu, pada penelitian ini kondisi mikroorganisme pengurai menjadi salah satu komponen yang akan diteliti.

Selain itu penelitian yang memverifikasi nilai laju deoksigenasi yang rendah tersebut belum dilakukan. Nilai ini dapat diverifikasi dengan melihat parameter pemengaruhnya. Hasil verifikasi menjadi dasar penetapan rentang laju deoksigenasi untuk digunakan pada pemodelan kualitas air sungai dan perumusan pengelolaan sungai-sungai di perkotaan.

Gambar 2 memperlihatkan peta jalan penelitian ini. Kajian mengenai pengelolaan kualitas sungai sudah dimulai 8 tahun yang lalu dengan meneliti koefisien laju urai BOD menggunakan berbagai metode. Koefisien yang diperoleh dari penelitian terdahulu diaplikasikan dalam bentuk model kualitas air sungai. Software model ini sudah mulai dibangun, yaitu KUALA.V01.

Output	**Product**	Laju urai BOD menggunakan kalibrasi model	Laju urai BOD menggunakan perlakuan di laboratorium	Prototipe software	KUALA.01 dalam sistem informasi	Laju deoksigenasi dalam fungsi kualitas air dan mikroorganisme	KUALA.02
	Findings	Kualitas air Sungai Citarum	Kualitas air Sungai Cikapundung & Citepus	kebutuhan pemakai software	Kualitas air Sungai Cikapundung	Parameter penting di sungai urban untuk Proses Self Purification	Fungsi-fungsi tiap pengguna model
	Publication	International conference	International and national conference	International publication	International publication and conference	International journal	International journal
Method	**Data Processing**	Sampling &Hasil model	Sampling, lab analysis	Pemrograman	Simulasi model	Statistik, dekriptif, komparatif	Statistik, dekriptif, komparatif
	Analysis	Kualitas Air	Proses statistik, Thomas Method	Hasil model dan lapangan	Deskriptif dan statistik	Uji fisika, kimia, dan biokimia, oksigen harian	Penentuan user dan kapasitas akses
PARAMETER	**Implementation**	Karakterisasi air Sungai Citarum	Karakterisasi Sungai Urban dari nilai laju urai BOD	Desain software	Konsep sistem informasi kualitas air sungai perkotaan	Sampling dan analisis laboratorium	Integrasi model dengan sistem informasi
	Process			Karakterisasi kondisi sungai		Studi literatur dan data pemantauan	Studi literatur dan pemetaan
	Design			Pemrograman komputer		Kualitas air fisika, kimia dan biologi	Peta-peta dan KUALA.01
Activity Year		**2008-2009**	**2011-2012**	**2013-2014**	**2015-2016**	**2017-2018**	**2019**

Gambar 2. Peta jalan penelitian mengenai pengelolaan kualitas air sungai urban.

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Penelitian mengenai parameter pemengaruh nilai laju deoksigenasi di sungai urban ini memiliki tujuan khusus sebagai berikut:

- Mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi proses deoksigenasi di sungai urban
- Memperoleh hubungan antara kualitas air dilihat dari kategori non-biodegradable polutan dengan laju deoksigenasi yang terjadi
- Mendapatkan jenis-jenis mikroorganisme yang terkandung dalam sungai urban, dikaitkan dengan proses degradasi materi organik yang terkandung dalam air sungai
- Menemukan konsentrasi tiap parameter pemengaruh terhadap proses degradasi materi organik dalam rangkaian proses *self purification* di sungai urban

Penelitian terdahulu mengenai laju deoksigenasi telah dimulai dan memperoleh beberapa hasil spesifik untuk kondisi sungai di perkotaan. Hasil penelitian ini masih meninggalkan beberapa pertanyaan yang perlu dijawab secara tuntas agar dapat diaplikasikan dalam rangkaian kegiatan perbaikan kualitas air sungai urban. Selain itu, upaya peningkatan dan mempertajam penelitian ini dapat membuka potensi kerjasama dengan pengguna pemodelan baik dari pemerintahan maupun pemangku kebijakan lainnya untuk merumuskan rekomendasi pengelolaan sungai urban.

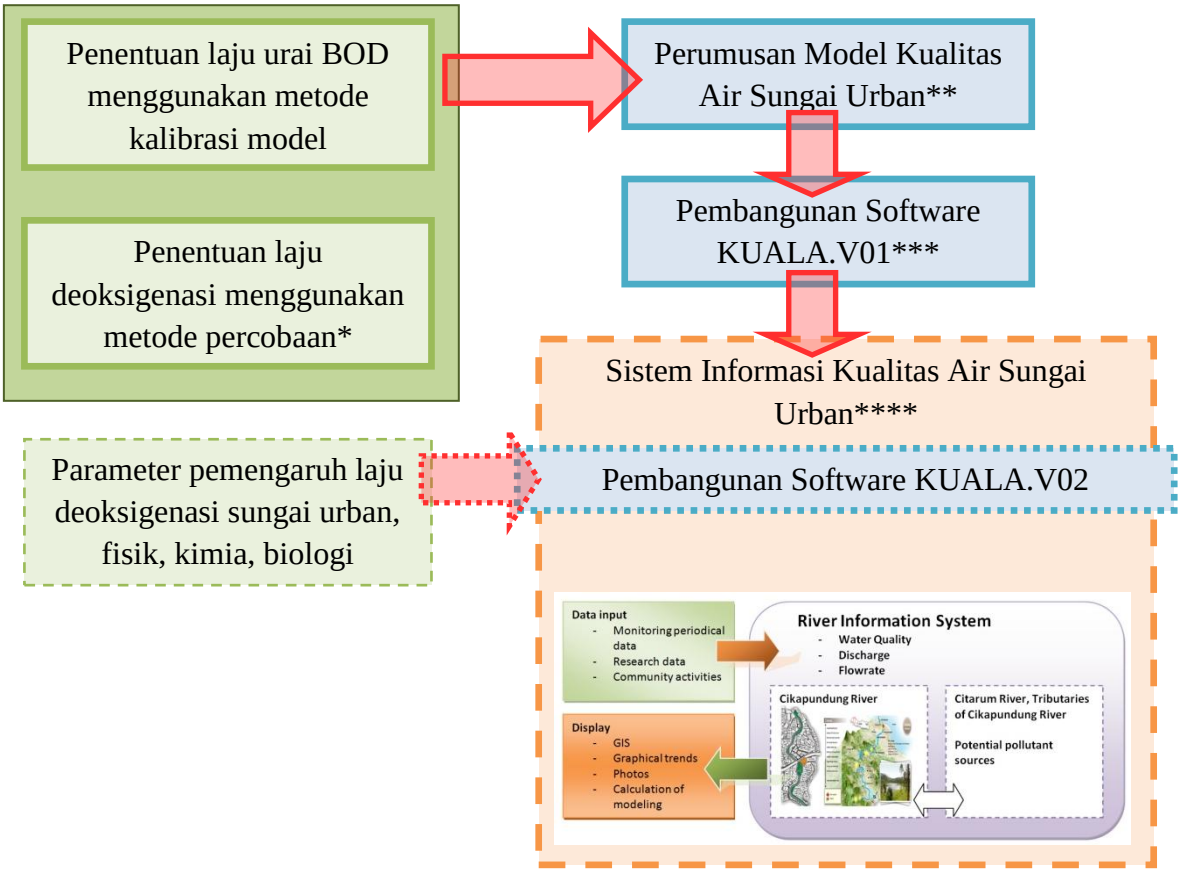
Nilai laju deoksigenasi dapat menggambarkan karakteristik polutan yang mencemari sungai. Selain itu, laju ini menjadi koefisien penting pada simulasi kualitas air sungai. Biasanya, proses simulasi dilakukan menggunakan koefisien yang diperoleh dari literatur asing (Hendriarianti dan Karnaningroem, 2015). Penggunaan nilai yang tidak sesuai dapat mengakibatkan hasil pemodelan yang tidak sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Lebih jauh lagi, ketidaksesuaian nilai yang dipakai dapat mengakibatkan perumusan pengendalian dan pengelolaan kualitas sungai menjadi tidak tepat atau bahkan salah kelola.

Rendahnya nilai laju deoksigenasi mengakibatkan pula sulitnya sungai kembali menjadi bersih, proses *self purification* menjadi lambat. Penelitian ini perlu dilakukan agar parameter penghambat proses self purification dapat diatasi sehingga kualitas air sungai dapat diperbaiki. Polutan penghambat proses tersebut dapat dihentikan dari sumbernya, dan proses *self purification* dapat ditingkatkan di badan air tersebut.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1 Framework Penelitian

Sesuai dengan peta jalan penelitian pengelolaan kualitas sungai urban, kajian awal dimulai dengan mendapatkan nilai-nilai koefisien melalui beberapa metode. Nilai urai BOD atau laju deoksigenasi kemudian mendukung pembangunan model kualitas air sungai.



Gambar 3. Rangkaian penelitian pengelolaan air sungai urban.

* (Yustiani, 2012) , (Yustiani, dkk., 2013)

** (Yustiani, dkk., 2014)

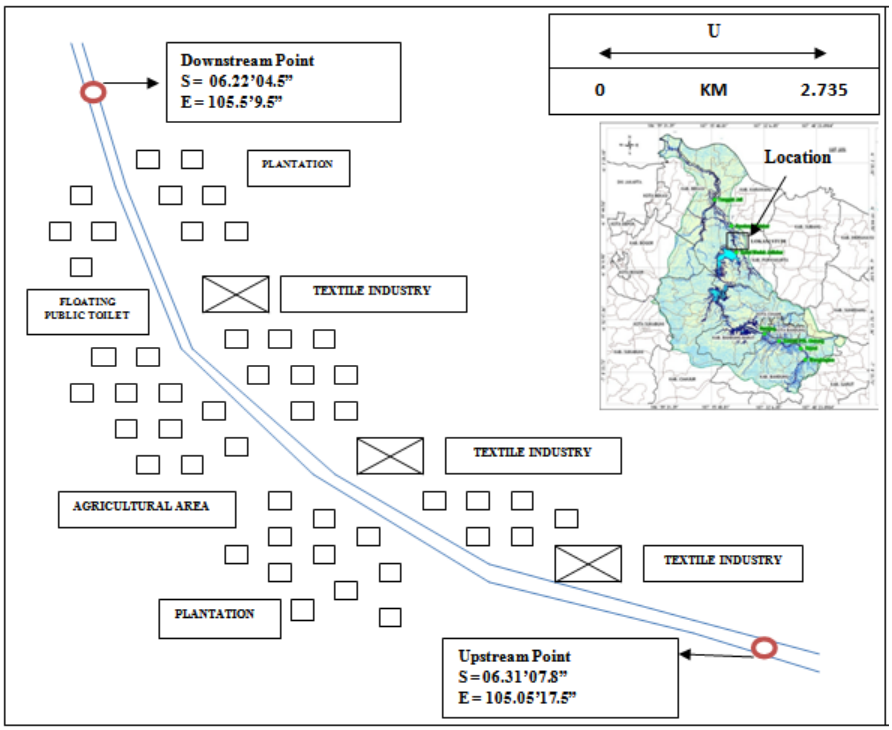
*** (Yustiani, dkk., 2015a), (Lidya, dkk., 2015)

**** (Yustiani, dkk., 2015b)

4.2 Lokasi Objek Penelitian

Sebagai representasi sungai urban, dipilih Sungai Citarum yang terletak di Kabupaten Bandung. Pemilihan ini didasarkan atas penelitian yang telah terdahulu dan kompleksitas yang dimiliki oleh sungai-sungai tersebut, terutama Sungai Citarum yang memiliki kualitas

air sungai sangat buruk. Gambar 4 memperlihatkan peta Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum.



Gambar 4. Peta DAS Citarum dan titik sampling.

4.3 Pengumpulan Data

Jenis data yang akan diambil adalah data sekunder meliputi kualitas air Sungai Citarum. Data ini diperoleh dari instansi pemerintah yang melakukan monitoring berkala di sungai-sungai tersebut, yaitu BPLH Kota Bandung dan BPLHD Provinsi Jawa Barat. Artikel ilmiah dari jurnal maupun laporan-laporan penelitian juga merupakan sumber data sekunder yang akan memperkaya penelitian ini.

Selain data sekunder, data primer juga dikumpulkan melalui pengambilan sampel air sungai di 2 titik di Sungai Citarum.

4.4 Analisis Laboratorium

Sampel air yang diambil akan diperiksa di laboratorium untuk mengetahui parameter fisik, kimia dan biologinya. Parameter yang menjadi perhatian utama dalam penelitian ini antara lain logam berat, deterjen, dan pestisida. Analisis kualitas air akan dilakukan di laboratorium air Prodi Teknik Lingkungan. Beberapa parameter diperiksa di laboratorium Teknik Lingkungan ITB. Tabel 1 menunjukkan metode analisis laboratorium untuk parameter fisika dan kimia.

Tabel 1. Metode analisis laboratorium untuk parameter fisika dan kimia.

No	Parameter	Metode Analisis Laboratorium
	FISIKA	
1	Temperatur	Termometri
2	Total Suspended Solid	Gravimetri
3	Total Dissolved Solid	Gravimetri
	KIMIAWI	
1	pH	Elektrometri
2	DO	Titrimetri
3	BOD_5	Inkubasi pada T 20 ^{0}C, 5 hari
4	COD	Refluks secara tertutup
10	Fenol	Spektrofotometri dengan 4-aminoantipirin
11	Tembaga (Cu)	Spektrofotometri serapan atom secara langsung
12	Timbal (Pb)	Kolorimetri dengan Ditizon
13	Seng (Zn)	Kolorimetri dengan Ditizon
14	Krom (heksavalen)	Kolorimetri dengan Difenil Karbazid
15	Belerang	Titrimetri
16	Kadmiun (Cd)	Spektrofotometri serapan atom
17	Air Raksa (total)	Spektrofotometri

Sampling dilakukan 2 kali untuk mewakili musim hujan (debit tinggi) dan musim peralihan menuju kemarau.

Mikroorganisme juga akan diidentifikasi dari sampel air sungai yang diambil, terutama untuk mikroorganisme pengurai, meliputi bakteri dan jamur. Selain itu sampel air juga diambil untuk mengukur laju deoksigenasi sesuai pada saat pengambilan sampel untuk pemeriksaan kualitas airnya. Laju deoksigenasi ditentukan dengan metode inkubasi selama 10 hari pada suhu 20 derajat Celcius dan pengukuran oksigen terlarut tiap harinya.

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Data Kualitas Air Sungai Citarum Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Tabel 2 memperlihatkan beberapa parameter kualitas air Sungai Citarum menurut Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dari Tahun 2010 hingga 2014.

Tabel 2. Data Kualitas Air Sungai Citarum

No	Parameter	Tahun				
		2010	2011	2012	2013	2014
1	TSS	101,05	77,73	25,82	58,35	82,35
2	DO	4,38	5,90	4,20	5,10	4,28
3	BOD	15,77	7,46	22,68	14,13	16,84
4	COD	52,53	33,40	76,65	45,46	43,32
5	Total Phospat	0,11	0,08	0,14	0,28	0,12
6	Fecal Coli	3916,49	445.970,1	439.257,22	72.616,34	2.847.024,51
7	Total Coli	36.193	828.725,5	1.034.922,50	18.769.360,71	26.051.002,73

Sumber : Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2014

Berdasarkan data Kualitas air Sungai menurut Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Dilakukan peninjauan di Sungai Citarum yang terdiri dari parameter TSS (*Total Suspended Solid*), DO (*Dissolve Oxygen*), BOD, COD, Total Phospat, Fecal Coli, dan Total Coli. Jika ditinjau dari parameter TSS (*Total Suspended Solid*) kandungan TSS pada tahun 2011 sampai 2013 mengalami penurunan dari tahun 2010, namun pada tahun 2014 kandungan TSS meningkat cukup tajam. Hal ini menunjukan bahwa kondisi sungai banyak mengalami pengendapan dari hulu sungai (tutupan lahan di sepanjang sungai semakin berkurang) yang artinya tingkat endapan di sepanjang sungai akibat adanya erosi tanah semakin besar.

Dalam pengukuran parameter DO (*Dissolve Oxygen*) atau oksigen terlarut pada air sungai, maka semakin tinggi konsentrasi kandungan DO maka mengindikasikan bahwa kualitas air semakin baik. Jika dilihat dari data kualitas air dari tahun 2010 hingga 2014 kandungan DO menurun, dikarenakan semakin banyaknya kegiatan industri dan domestik yang membuang hasil limbah langsung ke sungai.

Berdasarkan data diatas kandungan Total Phospat pada Sungai Citarum mengalami peningkatan karena sudah tercemar yang disebabkan oleh kegiatan pertanian yang ada di sepanjang Sungai Citarum. Kandungan COD pada sungai-sungai di Indonesia mengalami

penurunan. Hal ini menunjukan bahwa telah terjadi pencemaran sungai dikarenakan banyaknya kegiatan industri besar di sepanjang sungai. Dan kandungan BOD pun meningkat dikarenakan terjadi pencemaran sungai oleh aktivitas rumah tangga, pembuangan sampah dan limbah industri. Dan yang terakhir, Total Coli pada Sungai Citarum mengalami peningkatan. Hal ini mengindikasikan masih banyak masyarakat di sepanjang DAS yang membuang hasil limbah dari kegiatan MCK (Mandi, Cuci dan Kakus) yang langsung di buang ke dalam sungai.

5.2 Data Kualitas Air Sungai Citarum Menurut Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Tahun 2015

Berdasarkan data kualitas air Sungai Citarum menurut Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Tahun 2015, terdapat beberapa titik sampling pengambilan sampel di seluruh segmen hulu sampai hilir, jika dilihat dari tabel nilai DO pada tiap segmen beragam, yakni berkisar 0 Mg/L di Sungai Cimande Hulu hingga 7,0 Mg/L di Sungai Cimande Hilir. Adapun pH pada air sungai pun beragam berkisar 6,4 di Sungai Citarum sampai Bendung Curug, dan 8,7 di Sungai Cikapundung hingga Maribaya. Sedangkan untuk nilai BOD berkisar 1,2 Mg/L di Sungai Cilamaya sampai Wanayasa, Sungai Cimande Hulu dan Sungai Cikijing Hilir, sedangkan nilai BOD terbesar berkisar 3,6 Mg/L di Sungai Citarum hingga Nanjung.

Sedangkan nilai DO pada segmen tengah antara Sungai Citarum tengah sampai Bendung Curug 5,3 mg/L, dan BOD 2,5 mg/L. Untuk Sungai Citarum sampai Bendung Walahar nilai DO yakni 2,4 mg/L sementara nilai BOD yakni 4,1 mg/L.

Parameter diatas dapat dijadikan acuan untuk mengidentifikasikan banyaknya limbah domestik dan limbah industri pada Sungai Citarum yang dapat meningkatkan konsentrasi materi organik dalam air sungai.

5.3 Debit dan Kualitas Air Sungai

Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 3 kali dan melakukan pemeriksaan langsung di lokasi yaitu pemeriksaan debit, suhu, pH, dan DO (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil Perhitungan Debit Sungai

No sampel	d rata-rata (meter)	t rata-rata (detik)	D (meter)	L (meter)	A (m^2)	V (m/det)	Q (m^3/det)
Hulu 1	2,90	6,17	1,00	10	29	0,162	4,6
Hulu 2	2,90	6,17	1,00	10	29	0,162	4,6

Hulu 3	2,90	6,17	1,00	10	29	0,162	4,6
Hilir 1	3,10	6,20	1,00	11	34,1	0,161	5,49
Hilir 2	3,10	6,20	1,00	11	34,1	0,161	5,49
Hilir 3	3,10	6,20	1,00	11	34,1	0,161	5,49

Table 4 berikut ini adalah data pengambilan sampel dan melakukan pemeriksaan langsung di lapangan seperti pemeriksaan debit, suhu, pH, dan DO. Pada tabel 5.3 dapat dilihat semakin naik derajat suhu air maka semakin berkurang oksigen terlarutnya karena telah terjadi penguapan.

Tabel 4. Nilai Pemeriksaan Parameter Di Lapangan

Titik Lokasi	Parameter		
	DO	pH	Suhu
Hulu I	6,8 mg/l	9,3	27,9°C
Hulu II	4,8mg/l	8,5	28,0°C
Hulu III	5,2 mg/l	8,3	28,1°C
Titik Lokasi	Parameter		
	DO	pH	Suhu
Hilir I	5,1 mg/l	7,6	28,8°C
Hilir II	3,8 mg/l	7,3	28,6°C
Hilir III	4,7 mg/l	7,2	28,4°C

5.4 Perhitungan Laju Deoksigenasi Menggunakan Analisis Laboratorium

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pemeriksaan konsentrasi oksigen terlarut (DO) dengan menggunakan analisis laboratorium, nilai DO di hilir lebih rendah dibandingkan nilai DO di hulu. Hal ini mungkin disebabkan kualitas air di segmen hilir buruk karena jika ditinjau dari tataguna lahan, disepanjang aliran sungai terdapat beberapa pabrik industri tekstil dan kegiatan domestik yang membuang limbah ke sungai. Data hasil pengukuran DO selama 10 hari untuk tiap titik sampel dibuat grafik untuk mendapatkan kurva DO Loss terhadap waktu.

DO Loss merupakan indikator pencemar organik yang diukur berdasarkan penurunan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme selama penguraian bahan organik. Setelah didapat nilai DO Loss maka diakumulasikan DO Loss tersebut agar mendapat perhitungan laju deoksigenasi setiap sampel.

Berikut ini adalah akumulasi DO Loss titik hulu 1 dapat dilihat pada Tabel 5.

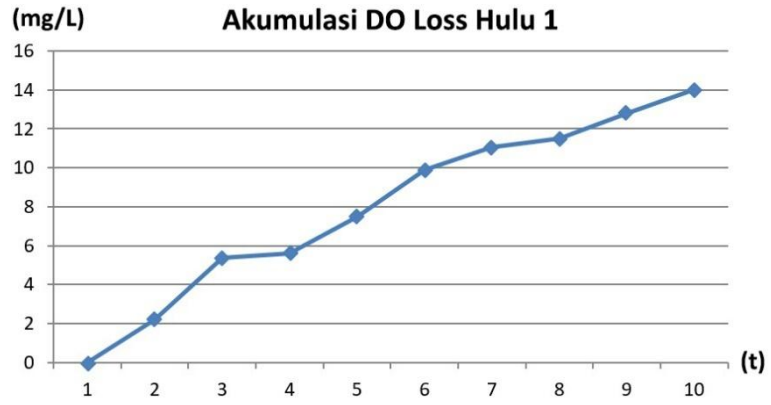
Tabel 5. Akumulasi DO Loss Titik Hulu 1

t (hari)	DO Awal	DO setelah aerasi	DO Loss	Akumulasi DO Loss
1	3,8		-	0
2	1,6	6,3	2,2	2,2
3	3,1		3,2	5,4
4	2,9		0,2	5,6
5	1	5,9	1,9	7,5
6	3,5		2,4	9,9
7	2,36		1,14	11,04
8	1,89	5,8	0,47	11,51
9	4,49		1,31	12,82
10	3,31		1,18	14

Contoh perhitungan :

DO Loss hari ke 2 = 3,8 – 1,6 = 2,2
DO Loss hari ke 3 = 6,3 – 3,1 = 3,2
DO Loss hari ke 4 = 3,1 – 2,9 = 0,2
DO Loss hari ke 5 = 2,9 – 1,0 = 1,9

Berikut adalah gambar grafik akumulasi DO Loss terhadap waktu untuk titik hulu 1 dapat dilihat pada **Gambar 5.**



Gambar 5. Akumulasi DO Loss Hulu 1

Dari grafik dapat dilihat akumulasi jumlah oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam menguraikan materi organik (DO Loss) di setiap harinya yang menyebabkan konsentrasi DO menjadi turun secara kontinyu dari dari ke-1 sampai hari ke-10.

Jumlah oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam menguraikan materi organik (DO Loss) di setiap harinya pada sampelnya digunakan dalam perhitungan laju

deoksigenasi. Perhitungan laju deoksigenasi dengan menggunakan analisis laboratorium, yaitu metode slope.

Setelah dapat gambar grafik maka dapat ditentukan nilai y', y'y, dan y^2 untuk nilai y (y adalah akumulasi DO Loss). Jumlah dari nilai tersebut akan menghasilkan Σy', Σy'y, dan Σy^2 dapat dilihat pada **Tabel 6.**

Tabel 6. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hulu 1

No	t (hari)	y	y'	y'y	y^2
1	0	0	0	0	0
2	1	2,2	2,7	5,94	4,84
3	2	5,4	1,7	9,18	29,16
4	3	5,6	1,05	5,88	31,36
5	4	7,5	2,15	16,125	56,25
6	5	9,9	1,77	17,523	98,01
7	6	11,04	0,805	8,8872	121,8816
8	7	11,51	0,89	10,2439	132,4801
9	8	12,82	1,245	15,9609	164,3524
10	9	14			196
Jumlah		79,97	12,31	89,74	834,3341

Contoh Perhitungan :

y' = (y setelah – y sebelum) / (t setelah – t sebelum)

= (5,4-0,00) / (2-0)

= 2,7

y'y = y x y'

= 2,7 x 2,2

= 5,94

y^2 = $2,2^2$ = 4,84

- $na + b\Sigma y - \Sigma y' = 0$
  $9a + 79,7\ b - 12,31 = 0$
  $a + 8,885\ b - 1,367 = 0$

- $a\Sigma y + b\Sigma y^2 - \Sigma y'y = 0$
  $79,97\ a + 834,3341\ b - 89,74 = 0$
  $a + 10,43\ b - 1,12 = 0$

- substitusi persamaan 2 dan 1
  $a + 10,43\ b - 1,12 = 0$

a + 8,885 b – 1,367 = 0
1,545 + 0,247 = 0
b = - 0,247 / 1,545
= - 0,15

- masuk ke persamaan 2
  a + 10,43 b – 1,12 = 0
  a + 11,27 (-0,15) – 1,12 = 0
  a – 1,65 – 1,12 = 0
  a - 2,77 = 0
  a = 2,77

Jadi nilai Laju Deoksigenasi (K1) dan nilai BOD Ultimatenya (La) adalah :

- k1 = - b
  = - (-0,15)
  = 0,15 / hari

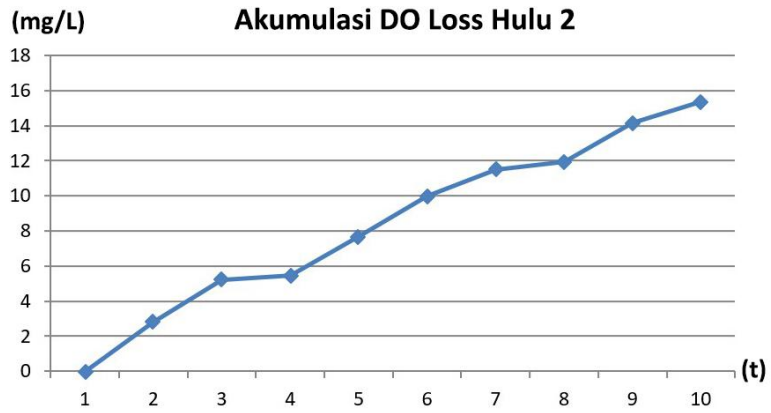
- La = -a / b
  = -2,77 / -0,15 = 18,46 mg/l

Berikut adalah adalah akumulasi DO Loss titik hulu 2 dapat dilihat pada **Tabel 7.**

Tabel 7. Akumulasi DO Loss Titik Hulu 2

t (hari)	DO Awal	DO setelah aerasi	DO Loss	Akumulasi DO Loss
1	4,1			0
2	1,3	6,3	2,8	2,8
3	3,9		2,4	5,2
4	3,65		0,25	5,45
5	1,42	5,9	2,23	7,68
6	3,6		2,3	9,98
7	2,11		1,49	11,47
8	1,65	5,8	0,46	11,93
9	3,55		2,25	14,18
10	2,36		1,19	15,37

Berikut ini adalah gambar grafik akumulasi DO Loss terhadap waktu untuk titik hulu 2 dapat dilihat pada **Gambar 6.**



Gambar 6. Akumulasi DO Loss Hulu 2

Setelah dapat gambar grafik maka dapat ditentukan nilai y', y'y, dan y^2 untuk nilai y (y adalah akumulasi DO Loss). Jumlah dari nilai tersebut akan menghasilkan Σy', Σy'y, dan Σy^2 dapat dilihat pada **Tabel 8.**

Tabel 8. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hulu 2

No.	t (hari)	y	y'	y'y	y^2
1	0	0	0	0	0
2	1	2,8	2,6	7,28	7,84
3	2	5,2	1,325	6,89	27,04
4	3	5,45	1,24	6,758	29,7025
5	4	7,68	2,265	17,3952	58,9824
6	5	9,98	1,895	18,9121	99,6004
7	6	11,47	0,975	11,18325	131,5609
8	7	11,93	1,355	16,16515	142,3249
9	8	14,18	1,72	24,3896	201,0724
10	9	15,37			236,2369
Jumlah		84,06	13,375	108,9733	934,3604

Contoh Perhitungan :

y' = (y setelah – y sebelum) / (t setelah – t sebelum)

= (5,2-0,00) / (2-0)

= 2,6

y'y = y x y'

= 2,8 x 2,6

= 7,28

y^2 = $2,8^2$ = 7,84

- $na + b\Sigma y - \Sigma y' = 0$
  $9a + 84{,}06\ b - 13{,}375 = 0$
  $a + 9{,}34\ b - 1{,}486 = 0$

- $a\Sigma y + b\Sigma y^2 - \Sigma y'y = 0$
  $84{,}06\ a + 934{,}36\ b - 108{,}97 = 0$
  $a + 11{,}11\ b - 1{,}29 = 0$

- substitusi persamaan 2 dan 1
  $a + 11{,}11\ b - 1{,}29 = 0$
  $a + 9{,}34\ b - 1{,}486 = 0$
  $1{,}77 + 0{,}18 = 0$
  $b = - 0{,}18 / 1{,}77$
  $= - 0{,}10$

- masuk ke persamaan 2
  $a + 11{,}11\ b - 1{,}29 = 0$
  $a + 11{,}11\ (-0{,}10) - 1{,}29 = 0$
  $a - 1{,}11 - 1{,}29 = 0$
  $a - 2{,}4 = 0$
  $a = 2{,}4$

Jadi nilai Laju Deoksigenasi (K1) dan nilai BOD Ultimatenya (La) adalah:

- $k1 = - b$
  $= - (-0{,}10)$
  $= 0{,}10$ / hari

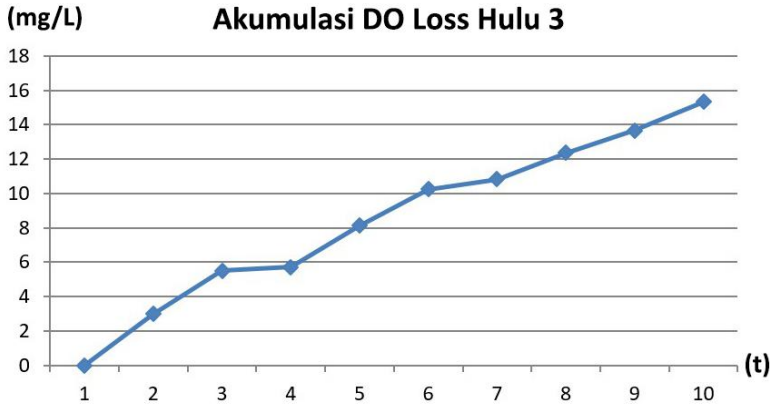
- $La = -a / b$
  $= -2{,}4 / -0{,}10$
  $= 24$ mg/l

Berikut ini adalah akumulasi DO Loss titik hulu 3 dapat dilihat pada **Tabel 9.**

Tabel 9. Akumulasi DO Loss Titik Hulu 3

t (hari)	DO Awal	DO setelah aerasi	DO Loss	Akumulasi DO Loss
1	4			0
2	1	6,3	3	2,8
3	3,8		2,5	5,5
4	3,58		0,22	5,72
5	1,18	5,9	2,4	8,12
6	3,78		2,12	10,24
7	3,2		0,58	10,82
8	1,66	5,8	1,54	12,36
9	4,49		1,31	13,67
10	2,84		1,65	15,32

Berikut ini adalah gambar grafik akumulasi DO Loss terhadap waktu untuk titik hulu 3 dapat dilihat pada **Gambar 7.**



Gambar 7. Akumulasi DO Loss Hulu 3

Setelah dapat gambar grafik maka dapat ditentukan nilai y', y'y, dan y^2 untuk nilai y (y adalah akumulasi DO Loss). Jumlah dari nilai tersebut akan menghasilkan Σy', Σy'y, dan Σy^2 dapat dilihat pada **Tabel 10.**

Tabel 10. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hulu 3

No.	t (hari)	y	y'	y'y	y^2
1	0	0	0	0	0
2	1	3	2,75	8,25	9
3	2	5,5	1,36	7,48	30,25
4	3	5,72	1,31	7,4932	32,7184
5	4	8,12	2,26	18,3512	65,9344
6	5	10,24	1,35	13,824	104,8576
7	6	10,82	1,06	11,4692	117,0724
8	7	12,36	1,425	17,613	152,7696
9	8	13,67	1,48	20,2316	186,8689
10	9	15,32			234,7024
Jumlah		84,75	12,995	104,7122	934,1737

Contoh Perhitungan :

y' = (y setelah – y sebelum) / (t setelah – t sebelum)

= (5,5-0,00) / (2-0)

= 2,75

y'y = y x y'

= 3,00 x 2,75

= 8,25

y^2 = $3,00^2$ = 9,00

- na + bΣy – Σy’ = 0
  9a + 84,55 b – 13,095 = 0
  a + 9,39 b – 1,455 = 0

- aΣy + bΣy^2 - Σy’y = 0
  84,55 a + 933,013 b – 104,71 = 0
  a + 11,03 b – 1,23 = 0

- substitusi persamaan 2 dan 1
  a + 11,03 b – 1,23 = 0
  a + 9,39 b – 1,455 = 0
  1,64 + 0,21 = 0
  b = - 0,21 / 1,65
  = - 0,13

- masuk ke persamaan 2
  a + 11,03 b – 1,23 = 0
  a + 11,03 (-0,13) – 1,23 = 0
  a – 1,43 – 1,23 = 0
  a –2,66 = 0
  a = 2,66

Jadi nilai Laju Deoksigenasi (K1) dan nilai BOD Ultimatenya (La) adalah :

- k1 = - b
  = - (-0,13)
  = 0,13 / hari

- La = -a / b
  = -2,66 / -0,13
  = 20,46 mg/l

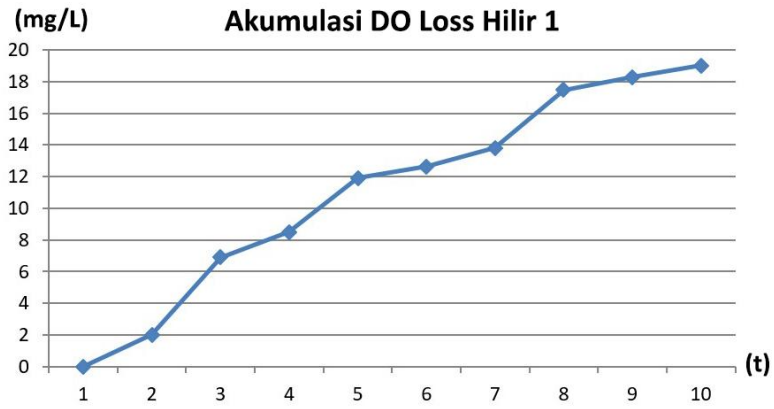
Berikut ini adalah akumulasi DO Loss titik hilir 1 dapat dilihat pada **Tabel 11.**

Tabel 11. Akumulasi DO Loss Titik Hilir 1

t (hari)	DO Awal	DO setelah aerasi	DO Loss	Akumulasi DO Loss
1	1,9	8,8	0	0
2	6,8		2	2
3	1,9	8,1	4,9	6,9
4	6,5		1,6	8,5
5	3,077		3,423	11,923
6	2,36		0,717	12,64
7	1,18	7,3	1,18	13,82

t (hari)	DO Awal	DO setelah aerasi	DO Loss	Akumulasi DO Loss
8	3,65		3,65	17,47
9	2,82		0,83	18,3
10	2,1		0,72	19,02

Berikut ini adalah gambar grafik akumulasi DO Loss terhadap waktu untuk titik hilir 1 dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Akumulasi DO Loss Hilir 1

Setelah dapat gambar grafik maka dapat ditentukan nilai y', y'y, dan y^2 untuk nilai y (y adalah akumulasi DO Loss). Jumlah dari nilai tersebut akan menghasilkan $\Sigma y'$, $\Sigma y'y$, dan Σy^2 dapat dilihat pada **Tabel 12**

Tabel 12. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hilir 1

No.	t (hari)	y	y'	y'y	y^2
1	0	0	0	0	0
2	1	2	3,45	6,9	4
3	2	6,9	3,25	22,425	47,61
4	3	8,5	2,5115	21,34775	72,25
5	4	11,923	2,07	24,68061	142,1579
6	5	12,64	0,9485	11,98904	159,7696
7	6	13,82	2,415	33,3753	190,9924
8	7	17,47	2,24	39,1328	305,2009
9	8	18,3	0,775	14,1825	334,89
10	9	19,02			361,7604
Jumlah		110,573	17,66	174,033	1618,631

Contoh Perhitungan :

y' = (y setelah – y sebelum) / (t setelah – t sebelum)
= (6,9-0,00) / (2-0)
= 3,45
y'y = y x y'
= 2,0 x 3,45
= 6,9
y^2 = $2,0^2$ = 4,0

- na + bΣy – Σy' = 0
  9a + 110,573 b – 17,66 = 0
  a + 12,28 b – 1,962 = 0

- aΣy + bΣy^2 - Σy'y = 0
  110,573 a + 1618,631 b – 174,033 = 0
  a + 14,63 b – 1,57 = 0

- substitusi persamaan 2 dan 1
  a + 14,63 b – 1,57 = 0
  a + 12,28 b – 1,962 = 0
  2,35 + 0,38= 0
  b = - 0,38 / 2,35
  = - 0,16

- masuk ke persamaan 2
  a + 14,63 b – 1,57 = 0
  a + 14,63 (-0,16) – 1,57 = 0
  a – 2,34 – 1,57 = 0
  a – 3,91 = 0
  a = 3,91

Jadi nilai Laju Deoksigenasi (K1) dan nilai BOD Ultimatenya (La) adalah :

- k1 = - b
  = - (-0,16)
  = 0,16 / hari

- La = -a / b
  = -3,91 / -0,16
  = 24,43 mg/l

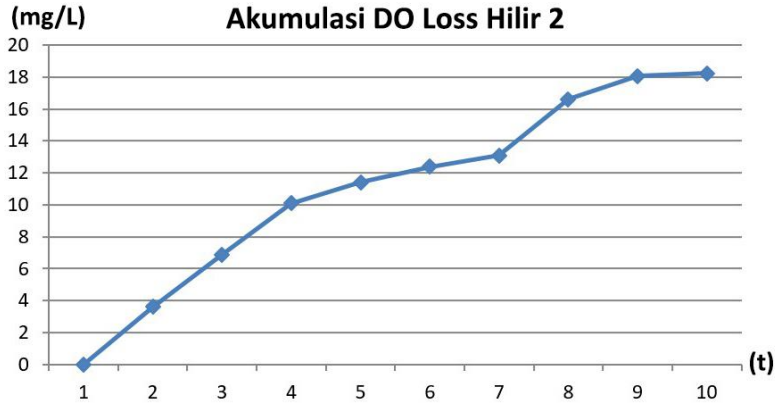
Berikut ini adalah akumulasi DO Loss titik hilir 2 dapat dilihat pada **Tabel 13.**

Tabel 13. Akumulasi DO Loss Titik Hilir 2

t (hari)	DO Awal	DO setelah aerasi	DO Loss	Akumulasi DO Loss
1	1,94	8,8	0	0
2	5,2		3,6	3,6
3	1,91	8,1	3,29	6,89
4	4,9		3,2	10,09

t (hari)	DO Awal	DO setelah aerasi	DO Loss	Akumulasi DO Loss
5	3,6		1,3	11,39
6	2,6		1	12,39
7	1,89	7,3	0,71	13,1
8	3,78		3,52	16,62
9	2,35		1,43	18,05
10	2,17		0,18	18,23

Berikut ini adalah gambar grafik akumulasi DO Loss terhadap waktu untuk titik hilir 2 dapat dilihat pada **Gambar 9.**



Gambar 9. Akumulasi DO Loss Hilir 2

Setelah dapat gambar grafik maka dapat ditentukan nilai y', y'y, dan y^2 untuk nilai y (y adalah akumulasi DO Loss). Jumlah dari nilai tersebut akan menghasilkan $\Sigma y'$, $\Sigma y'y$, dan Σy^2 dapat dilihat pada **Tabel 14.**

Tabel 14. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hilir 2

No.	t (hari)	y	y'	y'y	y^2
1	0	0	0	0	0
2	1	3,6	3,445	12,402	12,96
3	2	6,89	3,245	22,35805	47,4721
4	3	10,09	2,25	22,7025	101,8081
5	4	11,39	1,15	13,0985	129,7321
6	5	12,39	0,855	10,59345	153,5121
7	6	13,1	2,115	27,7065	171,61
8	7	16,62	2,475	41,1345	276,2244
9	8	18,05	0,805	14,53025	325,8025
10	9	18,23			332,3329
Jumlah		110,36	16,34	164,5258	1551,454

Contoh Perhitungan :

y' = (y setelah – y sebelum) / (t setelah – t sebelum)

= (6,89-0,00) / (2-0)

= 3,445

y'y = y x y'

= 3,6 x 3,445

= 12,402

y^2 = $3,6^2$ = 12,96

- $na + b\Sigma y – \Sigma y' = 0$
  $9a + 110,36\ b – 16,34 = 0$
  $a + 12,26\ b – 1,815 = 0$

- $a\Sigma y + b\Sigma y^2 - \Sigma y'y = 0$
  $110,36\ a + 1551,454\ b – 164,52 = 0$
  $a + 14,05\ b – 1,49 = 0$

- substitusi persamaan 2 dan 1
  $a + 14,05\ b – 1,49 = 0$
  $a + 12,26\ b – 1,815 = 0$
  $1,79 + 0,32 = 0$
  $b = - 0,32 / 1,79$
  $= - 0,17$

- masuk ke persamaan 2
  $a + 14,05\ b – 1,49 = 0$
  $a + 14,05\ (-0,17) – 1,49 = 0$
  $a – 2,38 – 1,49 = 0$
  $a – 3,87 = 0$
  $a = 3,87$

Jadi nilai Laju Deoksigenasi (K1) dan nilai BOD Ultimatenya (La) adalah :

- k1 = - b
  = - (-0,17)
  = 0,17 / hari

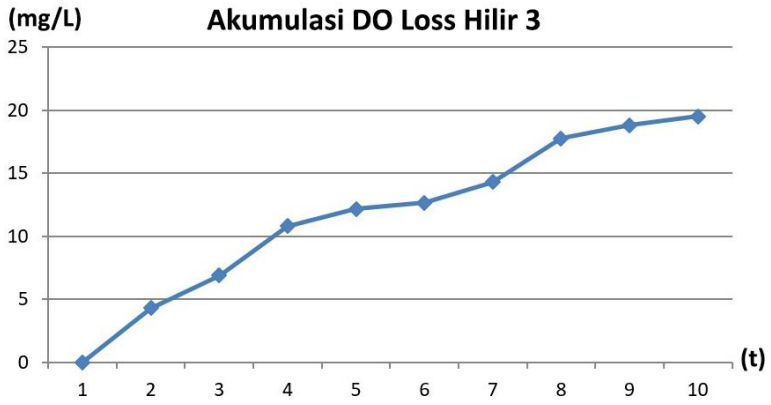
- La = -a / b
  = -3,87 / -0,17
  = 22,76 mg/l

  Berikut ini adalah akumulasi DO Loss titik hilir 3 dapat dilihat pada **Tabel 15.**

Tabel 15. Akumulasi DO Loss Titik Hilir 3

t (hari)	DO Awal	DO setelah aerasi	DO Loss	Akumulasi DO Loss
1	1,99	8,8	0	0
2	4,5		4,3	4,3
3	1,9	8,1	2,6	6,9
4	4,2		3,9	10,8
5	2,84		1,36	12,16
6	2,36		0,48	12,64
7	0,71	7,3	1,65	14,29
8	3,84		3,46	17,75
9	2,8		1,04	18,79
10	2,1		0,7	19,49

Berikut ini adalah gambar grafik akumulasi DO Loss terhadap waktu untuk titik hilir 3 dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Akumulasi DO Loss Hilir 3

Setelah dapat gambar grafik maka dapat ditentukan nilai y', y'y, dan y^2 untuk nilai y (y adalah akumulasi DO Loss). Jumlah dari nilai tersebut akan menghasilkan $\Sigma y'$, $\Sigma y'y$, dan Σy^2 dapat dilihat pada **Tabel 16.**

Tabel 16. Hasil Perhitungan y', y'y, dan y^2 Titik Hilir 3

No	t (hari)	y	y'	y'y	y^2
1	0	0	0	0	0
2	1	4,3	3,45	14,835	18,49
3	2	6,9	3,25	22,425	47,61
4	3	10,8	2,63	28,404	116,64
5	4	12,16	0,92	11,1872	147,8656
6	5	12,64	1,065	13,4616	159,7696
7	6	14,29	2,555	36,51095	204,2041

No	t (hari)	y	y'	y'y	y^2
8	7	17,75	2,25	39,9375	315,0625
9	8	18,79	0,87	16,3473	353,0641
10	9	19,49			379,8601
Jumlah		117,12	16,99	183,1086	1742,566

Contoh Perhitungan :

y' = (y setelah – y sebelum) / (t setelah – t sebelum)

= (6,9-0,00) / (2-0)

= 3,45

y'y = y x y'

= 4,3 x 3,45

= 14,835

y^2 = $4,3^2$ = 18,49

- $na + b\Sigma y - \Sigma y' = 0$
  $9a + 117,12\ b - 16,99 = 0$
  $a + 13,01\ b - 1,88 = 0$
- $a\Sigma y + b\Sigma y^2 - \Sigma y'y = 0$
  $117,12\ a + 1742,566\ b - 183,1086 = 0$
  $a + 14,87\ b - 1,56 = 0$
- substitusi persamaan 2 dan 1
  $a + 14,87\ b - 1,56 = 0$
  $a + 13,01\ b - 1,88 = 0$
  $1,86 + 0,32 = 0$
  $b = - 0,32 / 1,86$
  $= - 0,17$

- masuk ke persamaan 2
  $a + 14,87\ b - 1,56 = 0$
  $a + 14,87\ (-0,17) - 1,56 = 0$
  $a - 2,52 - 1,56 = 0$
  $a - 4,08 = 0$
  $a = 4,08$

Jadi nilai Laju Deoksigenasi (K1) dan nilai BOD Ultimatenya (La) adalah :

- k1 = - b
  = - (-0,17)
  = 0,17 / hari

- La = -a / b
  = -4,08 / -0,17
  = 24 mg/l

Setelah dilakukan perhitungan maka didapat nilai laju deoksigenasi (K1) dan nilai BOD Ultimate dengan menggunakan analisis laboratorium untuk setiap sampel terlihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Nilai Laju Deoksigenasi dan BOD Ultimate Dengan Menggunakan Analisis Laboratorium

Titik Sampling	Laju Deoksigenasi K1 (per hari)	BOD Ultimate La (mg/L)
Hulu 1	0,15	18,46
Hulu 2	0,10	24,00
Hulu 3	0,13	20,46
Hilir 1	0,16	24,43
Hilir 2	0,17	22,76
Hilir 3	0,17	24,00
Rata-rata Hulu	0,13	20,97
Rata-rata Hilir	0,166	23,73

Jadi secara keseluruhan apabila digabungkan dan diambil nilai rentang laju deoksigenasi (K1) untuk titik hulu pada Sungai Citarum berkisar antara 0,10 hingga 0,15 per hari. Untuk nilai laju deoksigenasi (K1) pada titik hilir berkisar 0,16 hingga 0,17 per hari. Nilai Deoksigenasi di hulu dan di hilir berbeda menunjukan aktivitas mikroorganisme yang ada dalam pemakaian oksigen dalam mendegradasikan zat organik berbeda-beda. Sedangkan untuk nilai BOD Ultimate pada Sungai Citarum secara keseluruhan antara 18,46 mg/L hingga 24,43 mg/L. Nilai La-nya memiliki nilai lebih besar di hilir daripada di hulu.

5.5 Perhitungan Laju Deoksigenasi Menggunakan Rumus Empiris

Dalam penentuan laju deoksigenasi dengan menggunakan rumus empiris ini mempertimbangkan faktor lingkungan seperti kedalaman sungai. Kedalaman suatu sungai berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme yang ada di dalamnya, dimana semakin dalam kedalaman suatu sungai maka akan semakin sedikit kandungan oksigennya dan sedikit juga jumlah mikroorgansime yang dapat hidup di perairan tersebut, dan apabila jumlah mikroorganisme yang ada di dalam air semakin sedikit maka laju deoksigenasi pada suatu sungai akan rendah, maka perhitungan laju deoksigenasi juga dilakukan dengan menggunakan rumus empiris yang berhubungan dengan kedalaman suatu sungai yaitu dengan rumus menurut Hydrosciense (Chapra, 1997).

Koefisien deoksigenasi yang digunakan untuk perhitungan model pencemaran organik air digunakan formula yaitu rumus menurut Hydroscience(Chapra, S.C, 1997) untuk aliran normal adalah sebagai berikut :

- ✓ Jika 0 ≤ H ≤ 8 ft → 0 ≤ H ≤ 2,4 m, maka

$$K_1 = 0{,}3\ x\ \left(\frac{H}{8}\right)^{-0{,}434}$$

- ✓ JikaH > 8 ft → H ≥ 2,4 m, maka $K_1 = 0{,}3$

Setelah dilakukan pengukuran kedalaman Sungai Citarum segmen tengah di titik hulu dan hilir diperoleh hasil yang melebihi 2,4 meter, sehingga rumus yang digunakan sebagai berikut :

- K1 = 0,3

Dimana :

K1 = Koefisien deoksigenasi (hari-1)

Setelah dilakukan perhitungan maka didapat nilai laju deoksigenasi (K1) dengan menggunakan rumus empiris untuk setiap sampel adalah seperti pada Tabel 18.

Tabel 18. Nilai Laju Deoksigenasi Dengan Menggunakan Rumus Empiris

Titik Sampling	Kedalaman (H)		Laju Deoksigenasi (per hari)
	Meter	Feet	
Hulu 1,2,3	2,9	9,51	0,3
Hilir 1,2,3	3,1	10,17	0,3

Jadi secara keseluruhan apabila digabungkan dan diambil nilai rentang laju deoksigenasi (K_1) dengan menggunakan analisis laboratorium pada Sungai Citarum berkisar antara **0,10** hingga **0,17** per hari. Sedangkan untuk nilai rentang laju deoksigenasi (K_1) dengan menggunakan rumus empiris pada Sungai Citarum memiliki nilai yang lebih besar berkisar yakni **0,30** per hari, hal ini terjadi karena rumus empiris ini merupakan rumus yang diterapkan pada sungai yang memiliki aktivitas mikroorganisme yang relatif tinggi sehingga nilai laju deoksigenasi akan besar.

5.6 Analisis Terhadap Nilai Laju Deoksigenasi di Beberapa Sungai

Berikut ini beberapa penelitian di beberapa sungai di berbagai daerah, dalam menentukan nilai laju deoksigenasi antara lain :

- Penelitian oleh Rahmad Hadjeri Amirullah 2016 untuk Sungai Rangkui pada musim hujan menghasilkan laju deoksigenasi dengan analisis laboratorium berkisar 0,14 hingga 0,41 per hari, sedangkan BOD Ultimatenya 8,53 hingga 70,64 mg/L.
- Penelitian oleh Frans Pranata 2012 untuk Sungai Citepus Bandung pada musim kemarau dan musim hujan menghasilkan nilai laju deoksigenasi dengan analisis laboratorium berkisar 0,0309 hingga 0,0328 per hari, dan nilai BOD Ultimate berkisar 35,02 hingga 44,23 mg/L.
- Nilai laju deoksigenasi untuk Sungai Gangga berkisar 3,5 hingga 3,6 per hari, dan 1,4 perhari untuk Sungai Yamura (Bhargava, 1983).
- Nilai Laju deoksigenasi berkisar 1,4 perhari untuk Sungai Greys Creek Lousiana, Amerika (Crain dan Malone, 1982).

Rentang nilai laju deoksigenasi pada Sungai Citarum segmen tengah pada penelitian ini berkisar antara **0,10** hingga **0,17** per hari dengan analisis laboratorium, sedangkan untuk rumus empiris berkisar **0,30** per hari. Laju deoksigenasi adalah kecepatan penurunan nilai oksigen yang terlarut di dalam air karena telah digunakan oleh bakteri aerob untuk menguraikan zat-zat organik yang dapat menurunkan kualitas air sungai. Jika nilai K_1 rendah maka beban pencemar yang masuk ke dalam badan air pun tinggi.

Jika ditinjau dari perbandingan dengan beberapa penelitian terdahulu, pada Sungai Citarum segmen tengah ini nilai K_1 sama dengan kondisi di Sungai Rangkui yakni berkisar **0,14** hingga **0,41** per hari, sedangkan BOD Ultimatenya **8,53** hingga **70,64** mg/L dan lebih rendah dari kondisi di Sungai Gangga dan Grey Creck yakni berkisar **3,5** hingga **3,6** per hari. Selain karena materi organik yang terkandung di dalam air sungai banyak dan jumlah mikroorganismenya sedikit (sehingga aktivitas dalam menguraikan materi organik relatif rendah), rendahnya nilai rentang laju deoksigenasi (K_1) juga kemungkinan dikarenakan adanya zat penghambat pertumbuhan dan kinerja mikroorganisme seperti limbah industri yang mengandung logam berat yang dapat menghambat aktivitas bahkan akan mematikan mikroorganisme.

Ini terjadi karena di Sungai Citarum segmen tengah ini terdapat 3 perusahaan industri tekstil yang membuang hasil limbah ke dalam sungai. Karakteristik dari industri tekstil yakni terdapat kandungan Ammonia (NH3), Sulfida, Fenol dan logam berat yang bersifat korosif yang dapat mematikan tumbuhan dan biota air karena kandungan oksigen dalam air semakin menurun.

Juga dari tata guna lahan yang ada di sepanjang aliran sungai pun terdapat pertanian dan perkebunan yang memungkinkan terdapat kandungan pestisida yang masuk ke badan air, yang dapat menyebabkan perubahan kualitas air seperti perubahan warna air yang mana dapat mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam air, sehingga proses fotosintesis tanaman dalam air akan terganggu, juga jumlah oksigen terlarut dalam air menjadi berkurang dan kehidupan organisme dalam air juga terganggu maka bila di degradasi akan terurai menjadi senyawa yang mudah menguap dan berbau busuk misal NH_3.

Dari limbah domestik pun banyak menyumbang hasil limbah ke dalam sungai, dari kegiatan Mandi Cuci Kakus (MCK), seperti deterjen, sabun dan adanya kandungan fecal coli yang berasal dari WC terapung yang ada di sisi sungai. Larutan sabun akan menaikkan pH air sehingga dapat mengganggu kehidupan organisme di dalam air, dan deterjen yang menggunakan bahan non-fosfat akan menaikkan pH air sampai sekitar 10,5-11. Bahan antiseptik yag ditambahkan ke dalam sabun atau deterjen juga mengganggu kehidupan mikroorganisme di dalam air bahkan dapat mematikan.

Namun jika ditinjau dari hasil penelitian di Sungai Citarum nilai K_1 yakni **0,10** hingga **0,17** per hari, maka nilai DO di Sungai Citarum rendah karena bakteri aerob menguraikan beberapa zat organik di dalam sungai dan menjadikan BOD tinggi yakni dengan rata-rata **20,97** hingga **23,73** mg/L.

5.7 Capaian Luaran Publikasi

Beberapa publikasi yang sedang disiapkan dan telah dilaksanakan adalah sebagai berikut:

1. Publikasi di Jurnal Internasional, Nama Jurnal: International Journal of Geomate (Q2), Status: published
2. Publikasi di Jurnal Internasional, Nama Jurnal: Rasayan (Q3), Status: published
3. Sebagai pemakalah di temu ilmiah internasional, Nama temu ilmiah: Science, Engineering and Environment, Status : Accepted

4. Sebagai Invited Speaker, Nama Conference: The International Conference Research Collaboration, Status: Sudah dilaksanakan
5. Buku Ajar, Nama paten: Pemodelan Kualitas Air Sungai, Status: draft
6. Paten, Nama paten: Metode Penentuan Laju Deoksigenasi Sungai Urban, Status: draft

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian, dapat dilihat bahwa kondisi perairan Sungai Citarum tercemar limbah domestik dan non-domestik. Bukan hanya materi organik biodegradable, namun juga materi organik non-biodegradable. Mikroorganisme yang terdapat pada perairan adalah jenis Clostridium sp, Kultur Jamur. Terdapat pula Coliform dalam jumlah melebihi baku mutu. Tidak terdapat kandungan logam berat yang dapat mempengaruhi proses degradasi pencemar oleh mikroorganisme. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa proses self purification lambat terjadi akibat keberadaan pencemar berupa MBAS atau kandungan deterjen dari proses pencucian baju.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adewumi, I., Oke, I. A., Bamgboye, P. A. (2005) Determination of the Deoxygenation Rates of a Residential Institution's Wastewater. Journal of Applied Sciences 5 (1), 108-112.
2. Beson, H.J., (2002) Microbiological Applications, Laboratory Manual in General Microbiology, McGraw Hill
3. Bhargava, D. (1983). "Most Rapid BOD Assimilation in Ganga and Yamuna Rivers." *J. Environ.* Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9372(1983)109:1(174), 174-188.
4. Haider, H, Ali, W. (2010) Development of Dissolved Oxygen Model for Highly Variable Flow River: A Case Study of Ravi River in Pakistan. Environmental Model Assessment Vol 15, pp. 583-599.
5. Harrop, B.L., Marks, J.C., Watwood, M.E., 2009. Early bacterial and fungal colonization of leaf litter in Fossil Creek, Arizona, Journal of the North American Benthological Society 28(2):383-396. 2009 doi: http:// dx.doi.org/10.1899/08-068.1
6. Harsono, E. and Nomosatryo, S. (2010) Pencirian Karbon Organik Air Sungai Citarum Hulu dari Masukan Air Limbah Penduduk dan Industri (Characterization of Organic Carbon of Citarum Hulu River Water Derived from the Domestic and Industrial Wastewater Effluents). In Indonesian. Jurnal Biologi Indonesia 6 (2), 277-288.
7. Hendriarianti, E. and Karnaningroem, N. (2015) Deoxygenation Rate of Carbon in Upstream Brantas River in the City of Malang. Journal Applied Environmental and Biological Science, 5 (12), 34-41.
8. Jha, R., Singh, V., P. (2008) Analytical Water Quality Model for Biochemical Oxygen Demand Simulation in River Gomti of Ganga Basin, India. KSCE Journal of Civil Engineering Vol 12 No.2 March 2008.
9. Kumarasamy, M.V., 2015. Deoxygenation and Reaeration Coupled hybrid Mixing cells Based Pollutant Transport Model to Assess water Quality Status of a River, *Int. J. Environ. Res., 9(1):341-350*
10. Kurup, R.G., Hamilton, D. P. (2002) Flushing of Dense, Hypoxic Water from a Cavity of the Swan Estuary, Western Australia, Estuaries Vol 25, No. 5, p. 908-915.
11. Lidya, L., Yustiani, Y.M. Analysis and Design Software of River Water Quality Model, Case Study: Cikapundung River, Bandung. *The 1st International on*

Interdisciplinary Studies for Cultural Heritage (ISCH 2015). Bandung, Indonesia May 12-13, 2015.

12. Menezes, J. P. C., Bittencourt, R. P., Farias, M. D. S., Bello, I. P., Oliveira, L F. C., Fia, R. (2015) Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of small tropical urban stream. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science Vol 10 n. 4, 748-757
13. Paula Popa, Mihaela Timofti, Mirela Voiculescu, Silvia Dragan, Catalin Trif, dan Lucian P. Georgescu (2012) Study of Physico-Chemical Characteristics of Wastewater in an Urban Agglomeration in Romania. The Scientific World Journa,l Volume 2012 (2012), Article ID 549028, 10 halaman. http://dx.doi.org/10.1100/2012/549028
14. Sarkar, A. dan Pandey, P. (2015) River Water Quality Modelling using Artificial Neural Network Technique. Aquatic Procedia 4, 1070-1077.
15. Siwiec, T., Kiedryńska, L., Abramowicz, K., Rewicka, A., Nowak, P. (2011) BOD measuring and modeling methods – review. Land Reclamation No. 43 (2), 143-153.
16. Suhendra, E., Purwanto, Kardena, E. 2013. Potensi Keberadaan Polutan Kloroanilin di Sungai Citarum Akibat Biotranformasi Pewarna Azo dari Air Limbah Tekstil. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan 2013.
17. Thomann, R.V, Mueller, J.A., 1987. Principle of Surface Water Quality Modeling and Control. Harper and Row Publishers, New York.
18. Trinivas, T., 2008. Environmental Biotechnology. New Age International Pvt Ltd Publishers.
19. UNPAS, 2011. Rencana Induk Penelitian Universitas Pasundan.
20. US Public Health Services, 1925. A Study of Pollution and Natural Purification of the Ohio River. III. Factor Concerned in the Phenomena of Oxidation and Reaeration.
21. Whitehead, P.G., 1982. Dispersion and Self-purification of pollutants in surface water systems. A contribution to the International Hydrological Programme. Unesco.
22. Yustiani, Y.M., Mulyatna, L., Pranata, F., 2013. The Deoxygenation Rate Determination Based on Physical Condition of River Body, Case Study of Citepus River. Padjadjaran International Physic Symposium 2013 (PIPS 2013) AIP Conf. Proc. 1554, 281-284 (2013); doi: 10.1063/1.4820340
23. Yustiani, Y.M., 2012. *Study on BOD Decay Rate of Urban Rivers in Bandung City,* The 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment "Toward a Sustainable ASEAN", Bandung Indonesia, 21-22 November 2012.

24. Yustiani, Y.M., Lidya, L., 2014. *Modelling Design and Parameters of Water Quality of Cikapundung River, Bandung*. International Symposium on Sustainability Science: Understanding Climate Change Phenomena for Human Well Being. 8-10 September, 2014. Padjadjaran University, Bandung.
25. Yustiani, Y.M., Lidya, L., 2015a. Development of River Water Quality Modeling Tool for Urban Rivers-Case Study of Cikapundung River, Bandung, Indonesia. The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment" November 23 - 24, 2015, Bandung, Indonesia.
26. Yustiani, Y.M., Lidya, L., Matsumoto, T., Rachman, I., 2015b. *Development of Information Technology of Water Quality of Urban Rivers - Case Study of Cikapundung River, Bandung, Indonesia.* International Conference on Electrical Engineering, Informatics, and Its Education 2015, Malang-Indonesia, 3 October 2015.
27. http://www.eulesstx.gov/composting/bc_microbial.htm#actinomycetes, diakses April 2016.
28. http://wineserver.ucdavis.edu/industry/enology/winemicro/winebacteria/bacillus.html (diakses September 2017)
29. https://www.inspq.qc.ca/en/moulds/fact-sheets/penicillium-spp (diakses September 2017)
30. https://www.amrita.edu/research/project/production-optimization-and-characterization-chitinase-enzyme-produced-aspergillus (diakses September 2017)
31. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166061614600713 (diakses September 2017)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Personalia tenaga pelaksana beserta kualifikasinya

Nama	Instansi	Kualifikasi
Dr. Yonik M. Yustiani	Teknik Lingkungan Universitas Pasundan	Ahli Pengelolaan Kualitas Lingkungan
Dr. Mia Nurkanti, M.Kes	Pendidikan Biologi Universitas Pasundan	Ahli Mikrobiologi Kesehatan
Ir. Neneng Suliasih, MP.	Teknologi Pangan Universitas Pasundan	Ahli Mikrobiologi
Ammar Maulud	Mahasiswa Teknik Lingkungan Universitas Pasundan	Asisten Teknik Lingkungan
Anna Ayudina	Alumni Teknik Lingkungan Universitas Pasundan	Asisten Teknik Lingkungan

Lampiran 2. Publikasi di Jurnal Internasional
Nama Jurnal: International Journal of Geomate (Q2)
Status: published

International Journal of GEOMATE, March., 2018 Vol.14, Issue 43, pp.50-54
Geotec., Const. Mat. & Env., DOI: https://doi.org/10.21660/2018.43.3546
ISSN: 2186-2982 (Print), 2186-2990 (Online), Japan

INFLUENCING PARAMETER OF SELF PURIFICATION PROCESS IN THE URBAN AREA OF CIKAPUNDUNG RIVER, INDONESIA

* Yonik Meilawati Yustiani[1], Mia Nurkanti[2], Neneng Suliasih[3] and Annisa Novantri[1]

[1]Dept of Environmental Engineering, Engineering Faculty, Universitas Pasundan, Indonesia; [2]Faculty of Education, Pasundan University, Indonesia; [3]Faculty of Engineering, Pasundan University, Indonesia

*Corresponding Author, Received: 31 May 2017, Revised: 15 Aug. 2017, Accepted: 1 Dec. 2017

ABSTRACT: Self-purification process is an important process in the effort of recovering the river condition itself. This process usually takes place naturally. However, several inhibitions might disturb the process. It was indicated by the slow deoxygenation rate and unhealthy river condition. This research aims to identify the influence parameters responsible for the slow of self-purification in the Cikapundung River, which is located in the urban area of Bandung City, Indonesia. The river water samples were taken and analyzed in the laboratory to obtain the water quality. The deoxygenation rate was also calculated based on the Slope Method after data was acquired from 10 days daily observation. Research showed that the value of urban river deoxygenation rate is relatively low. The low value of the rate of deoxygenation led to the difficulty in rivers to purify themselves. Pollutants inhibiting the process include phenol, detergent, and heavy metals, which are contaminating the river over the maximum standard. Biologically, the decomposer consists in the river is few. It leads to a slow organic degradation rate. The condition is representing the low capacity of self-purification of the Cikapundung River which is caused mainly by chemical and biological parameters.

Keywords: Deoxygenation Rate, Self-purification, Urban river, Water quality

1. INTRODUCTION

Cikapundung River is a river that passes through Bandung. As the capital of West Java Province, Bandung City is a city with a large population, which is more than 2.4 million people. The rapid development of the population stimulates the growth of settlements on the banks of the Cikapundung River without adequate sanitation facilities. Cikapundung River becomes a place of disposal of liquid waste from the activity around the river banks.

Rivers in urban areas, including Cikapundung, have various functions, such as drinking water sources, recreational locations and main drainage canal [1]. The river is the main natural and ecological site from a water management perspective [2]. Some parameters are set in the quality standards to maintain the health of the river.

The organic pollutant can be removed naturally in rivers. The process is performed by microorganisms. Several physicals, chemical, and biological activities involved in the river water organic pollutant degradation. Many of these physical and chemical activities are influenced by the biological condition. The removal of pollutants from a water body without any artificial controls is called self-purification, or natural purification [3].

Many urban rivers in Indonesia suffer from heavy pollution. Their capabilities to perform self-purification appear relatively low and resulting in the deterioration of the water quality, physically, chemically and biologically.

Degradation of organic pollutants is primarily affected by the river water characteristic. Contaminants generated from industries can threat river capability of self-purification. Several indicators can be used to explain how the natural remediation of the river cannot be carried out. This research was conducted to investigate the influencing parameter of self-purification process in the urban area of Cikapundung River. The result can be useful to track the pollutant sources and handle the issue from the initial causes.

BOD (biochemical oxygen demand) and COD (chemical oxygen demand) are 2 essential parameters of water quality to describe the organic pollutant condition of rivers. Thus BOD and COD are two widely used parameters for organic pollution measurement [4].

BOD (Biochemical Oxygen Demand) has a strong relationship with DO because it indicates the need for oxygen to decompose organic matter in the waters. Therefore, BOD becomes an important factor to evaluate the level of pollution of organic matter in the river [5]. Deoxygenation is the process of decreasing the amount of oxygen that occurs due to the use of oxygen by microorganisms to decompose pollutants into the aquatic bodies [6]. The deoxygenation process is an important process in the effort of the river to self-purification process, i.e. degradation of bio-

Lampiran 3. Publikasi di Jurnal Internasional
Nama Jurnal: Rasayan (Q3)
Status: published

RJC

RASĀYAN *J. Chem.*
Vol. 11 | No. 2 |475 - 481 | April - June | 2018
ISSN: 0974-1496 | e-ISSN: 0976-0083 | CODEN: RJCABP
http://www.rasayanjournal.com
http://www.rasayanjournal.co.in

INVESTIGATION ON THE DEOXYGENATION RATE OF WATER OF CIMANUK RIVER, INDRAMAYU, INDONESIA

Yonik Meilawati Yustiani*, Sri Wahyuni and M. Ringga Alfian
Department of Environmental Engineering, Engineering Faculty,
Universitas Pasundan, Indonesia
*E-mail : yonik@unpas.ac.id

ABSTRACT

Cimanuk River is one of the biggest rivers that pass through the Indramayu City, West Java, Indonesia. The river is categorized as an urban river and functioned as the main drainage system. Its water quality decreasing due to the urban runoff mixed with the wastewater discharged from the domestic and nondomestic activities. Modeling is one of the management efforts to overcome the water quality problem of the river. Deoxygenation rate becomes important to be obtained in order to have an accurate modeling result. This research was conducted to investigate the deoxygenation rate of the Cimanuk River based on the laboratory analysis and empirical formula calculation. Water samples were taken from 2 points in the Cimanuk River. DO measurement were conducted each day from the incubated samples for 10 days. Slope Method was then being used to determine the deoxygenation rate. The investigation results show that the range of deoxygenation rate of Cimanuk River is 0.06-0.12 per day. The BOD ultimate based on the Slope Method calculation ranges between 23.33 and 34.83 mg/L. Using the empirical equation, the deoxygenation rate was obtained between 0.422 and 0.462 per day. The low value of deoxygenation rate observed by laboratory analysis can be caused by the slow microorganism's activity in decomposing the organic matter due to the unfavorable environment in the water.

Keywords: deoxygenation rate, Cimanuk River, Slope Method

© RASĀYAN. All rights reserved

INTRODUCTION

Cimanuk is one of the six major rivers in West Java, flowing from the hilly area of Garut City, the Cikurai Mountain, passing through Sumedang and Majalengka areas and ended in the coastal area of Java Sea in the Indramayu City[1]. The rapid increase of city population has resulted in the long-term sustainability of environmental quality[2]. Similar to another urban river in Indonesia, the Cimanuk River received waste from domestic activities. Industrial activities, especially batik, Indonesian traditional pattern textile, production, located near the river will be able to degrade the river water quality by the increment of the accumulation of heavy metal of chromium and to disturb macrozoobenthic population in the river[3].

Various efforts can be implemented in order to improve the environmental conditions of Cimanuk River. One popular effort to manage and improve the river water quality is the usage of river water quality modeling[4]. Modeling in water quality was developed by Streeter and Phelps in 1925. The model indicates a balance between the increment rate of dissolved oxygen concentration as a result of reaeration process and the dissolved oxygen uptake rate from the decomposition of an organic waste, where the biochemical oxygen demand (BOD) deoxygenation rate was expressed as a first-order reaction, generating the curve of dissolved oxygen sag (DO) model[5]. Therefore, the Streeter-Phelps model is suitable to be used for the river that being contaminated by mainly domestic waste. The deoxygenation rate is one of the primary coefficients in BOD and DO modeling. Determination of specific deoxygenation rates in the study area is important for the accuracy of the modeling results. This coefficient of deoxygenation rate will also illustrate the characteristic of contaminated urban river water. In Indonesia, the river water quality modeling is rarely used in the frame of river improvement[6]. Usage of river water quality model is still not popular due to lack of data and information concerning the characteristic of the urban river water,

Rasayan J. Chem., 11(2), 475 - 481(2018)
http://dx.doi.org/10.7324/RJC.2018.1121892

Lampiran 4. Sebagai pemakalah di temu ilmiah internasional
Nama temu ilmiah: Science, Engineering and Environment
Status : Accepted

13 June 2018

Paper ID Number: 4681
Dr.Yonik MeilawatiYustiani
E-mail: yonik@unpas.ac.id

Subject: **Acceptance of Full Paper and Invitation to the 4th International Conference on Science, Engineering & Environment), Nagoya, Japan 12-14 Nov. 2018**

Dear Dr. Yonik Meilawati Yustiani,

We are pleased to inform you that after careful review and assessment, the Technical Committee of SEE-Nagoya 2018 has accepted your full paper entitled "UTILIZATION OF WATER QUALITY MODELING TO DETERMINE MAXIMUM BOD LOAD OF UPSTREAM CITARUM RIVER" for "Poster" presentation at the conference. It is, therefore, with great pleasure that we extend our formal invitation to you to participate and present your paper at this conference. If there is any additional correction from reviewers, we would inform you for necessary improvement later on.

Please be informed that the acceptance of your paper is conditional on your pending registration. Please make sure that you register before 15th July 2018 for your paper to be included in the proceedings and to be evaluated for conference award. This is strictly necessary for logistics and smooth operation of the conference.

Guidelines for preparing oral or poster presentations are available on the conference web page: http://www.confsee.com

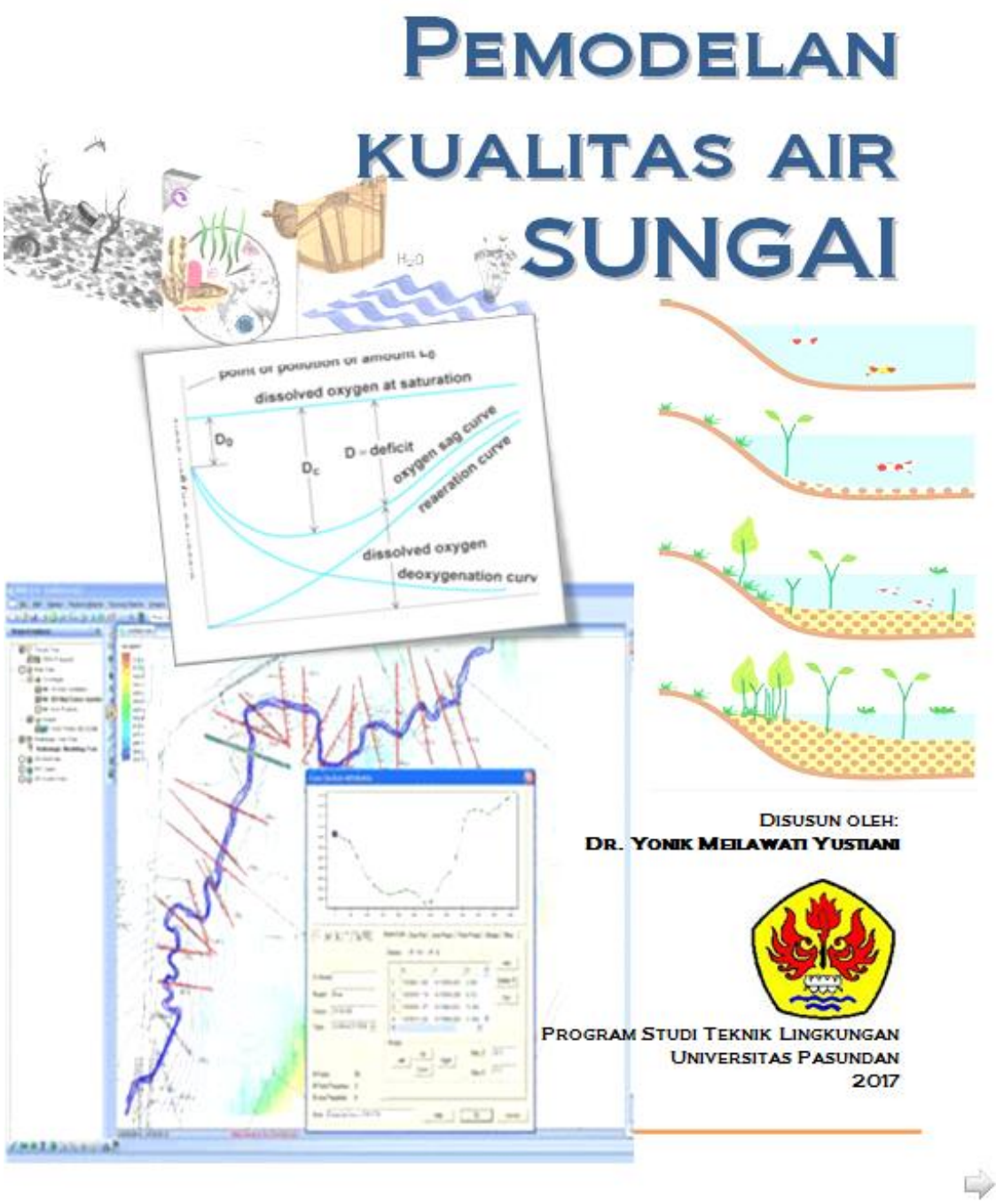
Should you require more information, please do not hesitate to contact us. We look forward to hearing from you soon. Please always refer paper ID number in any communication to us.

Sincerely yours,

Prof. Zakaria Hossain, Conference Chairman
4th International Conference on Science, Engineering & Environment (SEE),
Mie University 1577 Kurima Machiya-cho, Tsu-city,
Mie 514-8507 Japan, E-mail: editor@geomate.org
Tel & Fax: +81-59-231-9578
URL: http://www.confsee.com, E-mail: conference@geomate.org

Conference Hotel: The venue is Meitetsu New Grand Hotel, a station terminal hotel in Nagoya train station.
The web page is as follows: http://www.meitetsu-ngh.jp/en/

Lampiran 5. Buku Ajar
Nama Buku: Pemodelan Kualitas Air Sungai
Status: draft



Lampiran 6. Paten sederhana
Nama Paten: Metode Penentuan Laju Deoksigenasi Sungai Urban
Status: draft

Deskripsi

METODE PENENTUAN LAJU DEOKSIGENASI SUNGAI URBAN

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini berhubungan dangan metode penentuan kualitas air sungai urban, yaitu sungai yang berada pada daerah perkotaan menggunakan koefisien spesifik daerah tersebut untuk mereduksi kegiatan sampling lapangan.

Latar Belakang Invensi

Tingginya beban pencemaran yang masuk ke dalam badan air perkotaan mengakibatkan kondisi sungai menjadi rusak secara kualitas maupun estetika. Beberapa upaya pengendalian pencemaran telah dilakukan, termasuk penggunaan pemodelan dan perhitungan prediksi guna perumusan pengelolaan lingkungan dan pemberlakuan baku mutu, baik untuk air limbah (effluent standard) maupun untuk air sungai sebagai badan air penerima limbah (stream standard).

Persamaan Streeter Phelps ini dapat dilihat di Persamaan 1. Suku pertama persamaan merupakan proses deoksigenasi, sedangkan suku kedua merupakan proses reaerasi (Schnoor, 1996).

$$\bar{u}\frac{dC}{dx} = -k_d L + k_a(C_s - C) \qquad \text{(Pers. 1)}$$

Dimana: u = kecepatan rata-rata aliran sungai
Kd = koefisien deoksigenasi orde pertama
L = konsentrasi BOD
C = konsentrasi oksigen terlarut
Cs = konsentrasi oksigen terlarut jenuh
ka = koefisien reaerasi orde pertama

Steeter-Phelps memperkenalkan persamaan ini dalam penelitiannya berjudul *A Study of the Pollution and Natural Purification of the*

Lampiran 7. Invited Speaker
Nama Conference: The International Conference Research Collaboration
Status: telah dilakukan

The International Conference Research Collaboration

"Improvement of City Environmental Quality"

Certificate of Participation

This certificate is awarded to

Dr. Yonik Meilawati Yustiani, S.T., M.T.

in recognition of your participation as an Invited Speaker in

The International Conference Research Collaboration

Universitas Airlangga, Surabaya, March 12th, 2018

Dr. Sucipto Hariyanto, DEA
Chairman Indonesia

Prof. Toru Matsumoto
Chairman Japan

Prof. Win Darmanto, M. Si., Ph.D.
Dean of Science and Technology Faculty