

**Analisis Daya Tampung Beban Pencemar Menggunakan Model  
Numerik dan Spasial - Studi Kasus : Sungai Pesanggrahan  
Segmen Kota Depok Jawa Barat**

**MUHAMAD KOMARUDIN**



**SEKOLAH PASCA SARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2015**



**PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN  
SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA\***

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis berjudul Analisis Daya Tampung Beban Pencemar Menggunakan Model Numerik dan Spasial - Studi Kasus Sungai Pesanggrahan Segmen Kota Depok Jawa Barat adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2015

Muhamad Komarudin  
NIM 052110191



## RINGKASAN

MUHAMAD KOMARUDIN. Analisis Daya Tampung Beban Pencemar Menggunakan Model Numerik dan Spasial - Studi Kasus Sungai Pesanggrahan Segmen Kota Depok Jawa Barat. Dibimbing oleh SIGID HARIYADI dan BUDI KURNIAWAN.

Peningkatan jumlah penduduk yang diikuti dengan meningkatnya berbagai kegiatan telah meningkatkan produksi limbah cair yang di buang ke sungai. Peningkatan pembuangan limbah cair tersebut pada gilirannya dapat mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas air dan pencemaran sungai. Pengendalian pencemaran air yang memadai seharusnya dimulai dengan kegiatan inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar untuk mengetahui jenis dan lokasi sumber pencemar, perkiraan besaran beban pencemaran serta kontribusi masing-masing jenis sumber pencemar. Disamping itu, perhitungan dan analisis kemampuan sungai untuk menampung beban pencemar sesuai dengan kelas peruntukannya perlu dilakukan untuk membatasi jumlah beban pencemar yang diperbolehkan dibuang ke sungai.

Tujuan penelitian ini adalah (1) Melakukan identifikasi sumber pencemar dan analisis potensi beban pencemar yang masuk ke segmen terpilih di sungai Pasanggrahan (2) Menghitung dan menganalisis daya tampung beban pencemaran Air (DTBPA) Sungai Pesanggrahan segmen terpilih. Metode yang digunakan adalah model numerik dan spasial. Model numerik digunakan untuk menghitung DTBPA dengan perangkat lunak QUAL2Kw. Sementara itu pendekatan spasial dengan Sistem Informasi Geografi (SIG) digunakan untuk menelusuri sumber pencemar dan memperkirakan besaran beban pencemarannya. Lebih jauh lagi, pendekatan spasial mampu menghubungkan antara hasil identifikasi dan analisis potensi beban pencemar dengan hasil perhitungan DTBPA.

Beban pencemar setiap sumber pencemar diperkirakan dengan metode perhitungan tidak langsung menggunakan pendekatan faktor *effluent* atau emisi. Jenis sumber pencemar yang dianalisis adalah limbah cair dari rumah tangga, pertanian, peternakan dan sampah. Data sumber pencemar diperoleh dari Badan Pusat Statistik (Kecamatan dalam angka). Satuan unit analisis yang digunakan adalah Batas Administrasi dengan Batas Wilayah Pengaliran Drainase (WPD). Peta WPD merupakan peta yang dihasilkan dari analisis spasial dengan tehnik *overlay multilayer* untuk mendapatkan distribusi sumber pencemar. Unit analisis ini selanjutnya digunakan sebagai alat untuk mendapatkan kunci keterkaitan (*Key Linked*) antara segmen dengan wilayah keberadaan sumber pencemar yang menyebabkan pencemaran di tiap segmen. Sementara itu, DTBPA dihitung dengan model numerik menggunakan perangkat lunak QUAL2Kw dengan unit analisis segmen sungai. Penelitian ini membagi segmen sungai Pesanggrahan menjadi lima segmen yang menerima beban dari sumber pencemar yang berasal dari lima WPD dan 2 Sub DAS di bagian Hulu. Kelima WPD tersebut adalah WPD Sawangan, Cinangka, Meruyung, Limo dan Cinere yang merupakan bagian dari Sub DAS Pesanggrahan di Kota Depok Provinsi Jawa Barat. Sub DAS di bagian hulu yang memberikan kontribusi ke segmen di hilirnya adalah Sub DAS Pesanggrahan Hulu dan Sub DAS Caringin (anak Sungai Pesanggrahan).

Hasil perhitungan potensi beban pencemar memperlihatkan bahwa Total Potensi Beban Pencemar (PBP) untuk parameter BOD adalah 9,537.98 kg/hari yang terdiri dari sumber pencemar rumah tangga 42.4 %, pertanian 28.7 %, peternakan 26.4 % dan sampah 2.5 %. Parameter COD mempunyai nilai PBP sebesar 10,524.91 kg/hari dengan sumber pencemar dari rumah tangga 52.8 %, peternakan 44.1 % dan sampah 3.1 %. Untuk parameter TSS mempunyai nilai PBP sebesar 4,188.17 kg/hari dengan sumber pencemar dari rumah tangga 93.3 %, pertanian 1.3 % dan sampah 5.4 %. Berdasarkan hasil perhitungan potensi beban pencemar untuk parameter BOD, COD dan TSS dapat disimpulkan bahwa kontributor beban pencemar tertinggi adalah rumah tangga, diikuti oleh pertanian atau peternakan, sedangkan untuk sampah memberikan kontribusi yang lebih kecil.

Hasil pemodelan menunjukkan Beban Pencemar yang masuk ke seluruh segmen sungai untuk parameter BOD, COD dan TSS adalah 8,270.42 kg/hari; 59,789.66 kg/hari dan 49,217.47 kg/hari. Total kapasitas DTBPA di seluruh segmen sungai untuk BOD, COD dan TSS adalah 4,002.25 kg/hari; 33,631.20 kg/hari dan 49,115.26 kg/hari. Hal ini menunjukkan bahwa daya tampung beban pencemar sudah terlampaui dan penurunan beban pencemar yang diperlukan agar kualitas air sungai dapat memenuhi mutu air kelas dua adalah sebesar 4,268.17 kg/hari untuk BOD, 33,631.20 kg/hari untuk COD dan 102.21 kg/hari untuk TSS. Hasil uji model menunjukkan bahwa nilai konsentrasi kualitas air dari model untuk parameter BOD, COD maupun TSS dengan konsentrasi hasil pengukuran menunjukkan hubungan yang kuat dan perbedaan nilainya sangat kecil. Nilai konsentrasi BOD, COD dan TSS hasil model memiliki tingkat kesalahan kurang dari 10 % ditunjukkan oleh nilai RMSE sebesar 0.065 untuk BOD, 0.09 untuk COD dan 0.20 untuk TSS.

Berdasarkan analisis spasial dengan *key linked* segmen sungai dengan WPD atau Sub DAS maka diperoleh target penurunan beban pencemar BOD tertinggi menurut lokasi dan jenis sumber pencemarnya yaitu di Sub DAS Caringin dengan komposisi 28.8 % dari rumah tangga, 42.3 % dari pertanian, 24.3 % dari peternakan dan 1.8 % dari sampah. Untuk penurunan beban pencemar COD yaitu sebesar 43.3 % dari rumah tangga, 51.3 % dari peternakan dan 2.6 % dari sampah. Selanjutnya penurunan beban pencemar TSS yaitu sebesar 4.7 % dari rumah tangga, 0.1 % dari pertanian, 0.3% dari sampah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi penggunaan model numerik dan pendekatan spasial dapat menunjukkan lokasi dan jumlah beban pencemar yang harus diturunkan dari setiap jenis sumber pencemar yang dianalisis. Selanjutnya hasil uji dari model numerik menunjukkan bahwa kualitas air hasil model cukup teliti untuk memprediksi kualitas air dengan parameter BOD dan COD di Sungai Pesanggrahan, namun model kualitas air tidak cukup teliti untuk memprediksi kualitas air dengan parameter TSS di Sungai Pesanggrahan. Hasil pemodelan hanya mewakili daya tampung beban pencemaran sesaat di Sungai Pesanggrahan.

Kata Kunci: Sungai Pesanggrahan, Beban Pencemar, Daya Tampung Beban Pencemar, QUAL2Kw, SIG.

## SUMMARY

MUHAMAD KOMARUDIN. Analysis pollution load capacity using numeric and spasioal model – Case Study of Pesanggrahan River in Segmen Depok City West Of Java. Supervised by SIGID HARIYADI and BUDI KURNIAWAN.

The increase of population number followed by the rise of wide rage activities has boosted generated waste that is discharged into river. It in turn results in worsening water quality and pollution of river. An appropriate water pollution control should be initiated by the inventory and identification of pollutant sources to determine the type, location and amount of water pollutant sources. In addition, the calculation and analysis of pollution load capacity in accordace with its designated use is needed for limiting the amount of pollution load that is allowed to be discharged into river.

The purposes of the study are (1) To carry out the inventory and identification of pollutant sources that is discharged into the specified segment of Pasanggrahan River (2) To calculate and analyze the pollution load capacity of the specified segment of Pasanggrahan River. The methode used in the research is a combination of numerical model and spatial model. The calculating and analyzing river pollution load capacity were done applying the numerical water quality model of “*QUAL2Kw*” Meanwhile, the spatial approach using Geographic Information System (GIS) was conducted for estimation potential load of pollutants discharged into the river including tracing the probabbly source of the pollution. Furthermore, this spatial approach is capable of connecting the result of river polution load capacity calcaultion with the result of identification potential pollution sources discharged into the river. The study was conducted in Pasanggrahan river that pass through two diffrenct provinces, Provinces of West Java and Jakarta, The Capital City. The study area is focused in Passanggrahan river, segment of Depok City, West Java Province taking into account the hidrology and morfology condition.

Potential pollutant load of each pollutant source was estimated indirectly using effluent or emission factor approach. Type of pollutant sources analyzed were wastewater generated from households, agriculture, livestock and garbage. Pollutant source data was colected from the Central Statistics Agency (BPS) in the Sub district level. The analysis technique applied is overlying the Administration Map with Drainage Area Maps to obtain the map of distribution of potential pollutant load in drainage area used as the analysis unit for which was then used as a key linked tool to reveal the contribution of pollution sources causing the pollution of river. Pollution load capacity of the river was calculated by applying water quality numerical models using the software of *QUAL2Kw*. The analysis unit used is segments of river. This study divides the Pesanggrahan river into five segments that receive the load of pollutants deriving from pollution sources location within the five defined different drainage area and the two upstream watershed. The five drainage area comprise of the Sub districts of Sawangan , Cinangka, Meruyung, Limo and Cinere which are the parth of Depok City, West Java province. Whereas are two upstream watershed discharging the pollution load into study area are Pesanggrahan Hulu dan Caringin watershed which is a tributarry of Pesanggrahan river.

The result of identification of pollutant sources indicates that the total Potential Pollutant Load for BOD parameter that goes into the study area was 9,537.98 kg/day consisting of pollution load from household of 42.4 %, agriculture of 28.7 %, livestock of 26.4 % and garbage of 2.5 %. The total potential pollution load for COD parameter was 10,524.91 kg / day coming from household of 52.8%, livestock of 44.1 % and garbage of 3.1 %. The total Potential Pollutant Load for TSS was 4,188.17 kg/day which was contributed by household of 93.3 %, agriculture of 1.3 % and garbage of 5 %. Based on the result of potential pollution load calculation can be concluded that the highest contributor is household followed by either agriculture or livestock, while garbage is seen as the lowest contributor.

The result of modeling shows that the actual pollutant load discharged to the specified segment of river for BOD, COD and TSS are 8,270.42 kg/day; 59,789.66 kg/day and 49,217.47 kg/day, respectively. Meanwhile the allowable pollutant load or the pollution load capacity of the specified segment of the river for those pollutant parameters are 4,002.25 kg/day; 33,631.20 kg/day and 49,115.26 kg/day, respectively. It indicates that the pollution load capacity of the specified segment of the river has been exceeded that needs reduction as much as load of 4,268.17 kg/day for BOD, 26,158.46 kg/day for COD and 102.21 kg/day for TSS in order to meet the water quality standard of class II which is for water recreation. The coefficient of determination ( $r^2$ ) of 0,99 for BOD and COD and 0,998 for TSS indicates that the modelled concentration of BOD, COD and TSS and those concentration of measured results show the strong relationship and the low value difference. In addition, the calibration of modeling results have an error rate of less than 10% indicated by the value of RMSE of 0.065, 0.09, 0.2 for BOD, COD and TSS, respectively. The error value shows that the water quality modeling results can be used for predicting the pollution load capacity or the allowable pollutant load of the specified segment of river.

Spatial approach applied was able to present that Caringin watershed is the area that should reduce the highest amount of pollution load in order to meet the set water quality standard. The percentage of pollution load reduction are 28.8 %, 42.3 %, 24.3% and 1.8 % from household, agriculture, livestock and garbage, respectively for BOD parameter. Whereas for COD parameter this watershed should reach reduction of 43.3 %, 51.3 %, 2.6 % from household, livestock and garbage, respectively. Furthermore, the reduction for TSS parameter are 4.7 %, 0.1 %, and 0.3 % from household, agriculture and garbage, respectively.

The result of study reveal that the combination of numerical model and spatial approach was able as well to reveal the amount of pollution load that should be reduced in the specific area from each pollution source in the study area. In addition, it is shown by the test result that water quality model applied is capable of predicting the existing and simulated water quality sufficiently for BOD and COD parameter in Pasanggrahan river. However, it is not adequate for TSS parameter. It needs to emphasize that the result of model can only represent the pollution load capacity of Pasanggrahan river at the specific time.

Key Word : Pasanggrahan river, the pollution load capacity, the allowable pollutant load, QUAL2Kw, SIG.

@ Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2015  
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB



**Analisis Daya Tampung Beban Pencemar Menggunakan Model  
Numerik dan Spasial - Studi Kasus : Sungai Pesanggrahan  
Segmen Kota Depok Jawa Barat**

**MUHAMAD KOMARUDIN**

**Tesis**  
**sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar**  
**Magister Sains pada**  
**Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan**

**SEKOLAH PASCA SARJANA**  
**INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**BOGOR**  
**2015**

Penguji Luar Komisi pada Sidang Tesis : Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Sc

Judul Tesis : Analisis Daya Tampung Beban Pencemar Menggunakan Model Numerik dan Spasial - Studi Kasus : Sungai Pesanggrahan Segmen Kota Depok Jawa Barat

Nama : Muhamad Komarudin

NRP : P052110191

Disetujui,  
Komisi Pembimbing

Dr. Ir. Sigid Hariyadi M.Sc.  
Ketua

Dr. Budi Kurniawan, S.Si, M.Eng.  
Anggota

Diketahui,

Ketua Program Studi  
Pengelolaan Sumber Daya Alam  
dan Lingkungan

Dekan Sekolah Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Cecep Kusuma, M.S.  
NIP. 19620212 198501 1 001

Dr. Ir. Dahrul Syah, M.Sc, Agr.  
NIP. 196508141990021001

Tanggal Ujian : 21 Agustus 2015

Tanggal Lulus :

## **PRAKATA**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis dengan Judul Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Menggunakan Model Numerik dan Spasial - Studi Kasus: Sungai Pesanggrahan Segmen Kota Depok Jawa Barat.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Dr. Ir. Sigid Hariyadi, M.Sc. selaku Ketua komisi pembimbing dan Dr. Budi Kurniawan, S.Si., M.Eng selaku anggota komisi pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan dan memotivasi penulis selama penyusunan tesis ini. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Sc sebagai penguji luar komisi yang telah memberikan saran dan koreksi konstruktif. Selain itu, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada segenap tenaga pengajar dan pegawai serta teman-teman angkatan 2011 Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Sekolah Pasca Sarjana IPB Bogor.

Tidak lupa penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi DKI, Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane yang telah memberikan ijin dan dukungan data dalam penelitian ini, serta pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas dukungannya dalam penyelesaian studi penulis. Penghargaan setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada istri tercinta, anak-anak dan keluarga atas perhatian, kasih sayang dan doanya.

Akhir kata penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat bagi pihak-pihak yang memerlukannya.

Bogor, Agustus 2015

Muhamad Komarudin

P052110191

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>iv</b>
<b>1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
Latar Belakang	1
Kerangka Pemikiran	2
Perumusan Masalah	4
Tujuan Penelitian	5
Manfaat Penelitian	5
Ruang Lingkup	5
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
Daerah Aliran Sungai	6
Pencemaran Air Sungai	6
Penggunaan Lahan	6
Sumber Pencemar	7
Sistim Informasi Geografi	7
Model Kualitas Air	8
Daya Tampung Beban Pencemar	10
Keaslian Penelitian	11
<b>3 METODE PENELITIAN</b>	<b>13</b>
Lokasi dan Waktu Penelitian	13
Alat Dan Bahan	13
Data dan informasi	14
Prosedur Analisis Spasial	15
Parameter Kunci	16
Perkiraan Beban Pencemaran Air	17
Perhitungan Beban Pencemar SPT	18
Perhitungan Potensi Beban Pencemaran SPNT	18
Total Potensi Beban Pencemaran Air	21
Prosedur Model Numerik	21
Analisis Status Mutu Air	24
Pemodelan DTBPA	24
Teknik Simulasi	25
Pembagian Segmen	25
Pengambilan Sampel Air	26
Input Data	26
Running Program	26
Uji Model	27
Simulasi Model	27
<b>4 GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN</b>	<b>29</b>

Wilayah Penelitian	29
Batas Administrasi	29
Batas Daerah Aliran Sungai	30
Wilayah Pengaliran Drainase	31
Parameter Iklim	32
Kelembaban Nisbi	33
Suhu Udara	33
Angin	34
Debit Aliran	35
Penggunaan Lahan	35
Pertanian	38
Penduduk	38
Peternakan	40
<b>5 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>41</b>
Kondisi Tata Air Sungai Pesanggrahan	41
Segmentasi Sungai Pesanggrahan	41
Potensi Beban Pencemaran	45
Status Mutu Air	49
Daya Tampung Beban Pencemaran	52
Parameter BOD	53
Parameter COD	55
Parameter TSS	57
Hasil Uji Model	59
Pembahasan Umum	60
<b>6 SIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>66</b>
Simpulan	66
Saran	66
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>68</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b>	<b>75</b>

## DAFTAR TABEL

1	Faktor <i>Effluent</i> Ternak	19
2	Faktor <i>Effluent</i> Pertanian	20
3	Hubungan nilai IP dengan status mutu air	24
4	Kecepatan dan Arah Angin	34
5	Luas Penggunaan Lahan	37
6	Luas Lahan Pertanian	38
7	Jumlah dan Kepadatan Penduduk	39
8	Klasifikasi Kepadatan Penduduk	39
9	Jumlah Ternak per Wilayah Kecamatan	40
10	Segmentasi Sungai Pesanggrahan dan Lokasi Sampling Air	41
11	Koordinat Batas Segmen	43
12	Ketinggian Batas Atas dan Batas Bawah di Tiap Segmen	43
13	Morfometri Sungai	44
14	Data Tutupan Awan dan Tutupan Tajuk	44
15	Potensi Beban Pencemar menurut Sektor Kegiatan	46
16	Hasil perhitungan Status Mutu Air	50
17	Hasil Analisa Laboratorium	51
18	Skenario Model Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Air	52
19	Rekapitulasi Perhitungan DTBPA BOD	55
20	Rekapitulasi Perhitungan DTBPA COD	57
21	Rekapitulasi Perhitungan DTBPA TSS	59
22	Rekapitulasi Target Penurunan Beban Pencemaran	61
23	Rincian Target Penurunan Beban per WPD	62

## DAFTAR GAMBAR

1	Diagram Kerangka Pemikiran Penelitian	4
2	Model GIS dalam penilaian sumber pencemar tak tentu	8
3	Peta Lokasi Penelitian	13
4	Prosedur Analisis Spasial	16
5	Prosedur dan komponen data QUAL2Kw	23

6	Contoh Ploting Data Pemantauan dan Pemodelan	28
7	Peta Batas Administrasi Kota Depok	29
8	Peta Lokasi Wilayah Penelitian	31
9	Peta Wilayah Pengaliran Drainase	32
10	Curah Hujan Tahun 2014	33
11	Grafik Kelembaban Nisbi	33
12	Suhu Udara Tahun 2014	34
13	Grafik Debit Aliran Rata-rata Bulanan Sungai Pesanggrahan	35
14	Peta Penggunaan Lahan	36
15	Jumlah Rumah Tangga dan Fasilitas Tempat Buang Air Besar	40
16	Peta Segmentasi	42
17	Skematik Segmentasi Sungai Pesanggrahan	45
18	Peta Potensi Beban Pencemar COD	48
19	Peta Potensi Beban Pencemar TSS	49
20	Proses Simulasi model DTBPA	53
21	Konsentrasi BOD Pemantauan dengan BOD Model	55
22	Konsentrasi BOD DTBPA dengan BOD DTBPA Model	55
23	Konsentrasi COD Pemantauan dengan COD Model	57
24	Konsentrasi COD DTBPA dengan COD DTBPA Model	57
25	Konsentrasi TSS Pemantauan dengan TSS Model	59
26	Konsentrasi TSS DTBPA dengan TSS DTBPA Model	59
27	Peta Distribusi Target Penurunan Beban Pencemaran BOD	63
28	Peta Distribusi Target Penurunan Beban Pencemaran COD	64
29	Peta Distribusi Target Penurunan Beban Pencemaran TSS	65

## **DAFTAR LAMPIRAN**

1	Lampiran 1 Matrik Luas Penggunaan Lahan	73
2	Lampiran 2 Peta Lokasi Sampling	74

# 1 PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Kondisi lingkungan hidup di Indonesia telah menjadi bagian yang menyita perhatian dalam kehidupan bermasyarakat dan bernegara. Aktivitas kehidupan lebih banyak menyebabkan perubahan lingkungan yang mengesampingkan dinamisme alami dari lingkungan (Keraf 2010). Harris (2004) menyatakan bahwa telah banyak bukti-bukti masalah lingkungan yang terjadi, seperti : kehilangan keragaman hayati, perubahan penutupan lahan, perubahan iklim dan polusi.

Proyeksi penduduk Indonesia menunjukkan bahwa jumlah penduduk selama dua puluh lima tahun mendatang terus meningkat yaitu dari 240.7 juta pada tahun 2010 menjadi 304.9 juta pada tahun 2035 (BPS 2012). Hariyadi dan Setyobudiandi (2000) menyatakan bahwa kualitas air sangat dipengaruhi oleh berbagai jenis kegiatan manusia di sepanjang daerah aliran sungai seperti pertanian, domestik dan aktivitas industri. Selanjutnya dinyatakan juga bahwa jumlah penduduk yang terus meningkat tentunya akan diikuti dengan meningkatnya berbagai kegiatan, yang pada akhirnya akan menurunkan kualitas air sungai. Produksi limbah khususnya limbah cair yang dibuang ke sungai, apabila dilakukan secara terus menerus dapat mengakibatkan terjadinya pencemaran dan penurunan kualitas air sungai tersebut.

Menurut Suriawira (2005) berbagai aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya yang berasal dari kegiatan industri, rumah tangga dan pertanian akan menghasilkan limbah yang memberi sumbangan pada penurunan kualitas air sungai. Peningkatan beban limbah yang dialirkan ke sungai dikhawatirkan akan melebihi daya tampungnya dan apabila daya tampungnya terlampaui dapat mengakibatkan terganggunya daya dukung sungai yang pada akhirnya sumber daya alam ini akan mengalami kelangkaan baik ditinjau dari kuantitas maupun kualitas (Fadli 2008).

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air disebutkan bahwa air merupakan komponen lingkungan hidup yang penting bagi kelangsungan hidup dan kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Pemanfaatan air untuk berbagai kepentingan harus memperhitungkan kepentingan generasi sekarang maupun generasi mendatang (Effendi 2003). Pemerintah telah menetapkan kebijakan yang terkait dengan daya tampung air, dimana untuk melaksanakan kebijakan tersebut tentunya harus diketahui daya tampung sumber air yang akan dikelola, namun demikian masih banyak sungai-sungai di Indonesia yang belum diukur daya tampung beban pencemarannya (Keraf 2010).

Kondoatie (2010) menyatakan bahwa kondisi kuantitas dan kualitas air yang tidak normal menunjukkan telah terganggunya siklus hidrologi sehingga akan menimbulkan 3 (tiga) masalah klasik air yaitu “too much” (banjir), “too little” (kekeringan) dan “too dirty” (tercemar). Tiga masalah klasik ini cenderung telah menjadi ekstrim yang berpotensi menjadi masalah besar bagi umat manusia.

Permasalahan diatas merupakan cerminan permasalahan yang terjadi pada ruang jaringan sungai (instream) dan pada ruang daerah aliran sungai (offstream).

Soerianegara (1977) mengemukakan bahwa kelestarian sumber-sumber alam tidak saja terancam oleh langkah-langkah yang kurang bijaksana, melainkan juga oleh gejala pertumbuhan penduduk yang amat pesat sehingga di beberapa tempat telah melampaui daya dukung lingkungannya. Masalah yang dihadapi kini adalah bahwa keadaan lingkungan pemukiman cenderung memburuk dikarenakan penambahan penduduk yang lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan penambahan fasilitas-fasilitas pelayanan umum untuk mengimbangnya. Kondisi ini dapat dilihat pada keberadaan limbah domestik khususnya limbah dari rumah tangga yang banyak dijumpai mengganggu kondisi lingkungan.

Keraf (2010) menyatakan bahwa sasaran utama dari undang-undang nomor 32 tahun 2009 adalah menjaga daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup. Daya dukung dan daya tampung adalah batas toleransi, sebuah hukum alam, yang kalau dilampaui akan menuai krisis dan bencana lingkungan hidup. Segala bentuk kegiatan seharusnya dilarang selama berdampak melampaui daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup, dan sebaliknya apa pun diperbolehkan termasuk izin usaha, selama masih ditolerir oleh daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup. Ini menunjukkan betapa pentingnya penetapan daya dukung dan daya tampung sebagai tolok ukur dan acuan dalam pembangunan yang berwawasan lingkungan.

Perhitungan daya tampung beban pencemaran sungai belum dapat dilakukan secara langsung karena kompleksitas faktor-faktor yang mempengaruhinya, oleh sebab itu digunakan metode pemodelan untuk menyederhanakan kompleksitas tersebut (Kurniawan 2013). Penelitian ini akan difokuskan pada perhitungan dan analisis daya tampung beban pencemaran sungai dengan harapan dapat memberikan alternatif metode yang lebih komprehensif dalam implementasi penetapan daya tampung beban pencemar. Metode yang akan digunakan adalah pemodelan numerik dan spasial. Metode pemodelan numerik adalah teknik yang akan digunakan untuk memformulasikan persoalan riil di lapangan secara matematik sehingga dapat dipecahkan dengan operasi perhitungan/aritmetika, terutama terkait dengan perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Air (DTBPA). Metode pendekatan spasial digunakan untuk merujuk lokasi obyek yang dianalisis dengan menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG) terutama terkait dengan inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar serta penetapan segmentasi pada perhitungan DTBPA.

### **Kerangka Pemikiran**

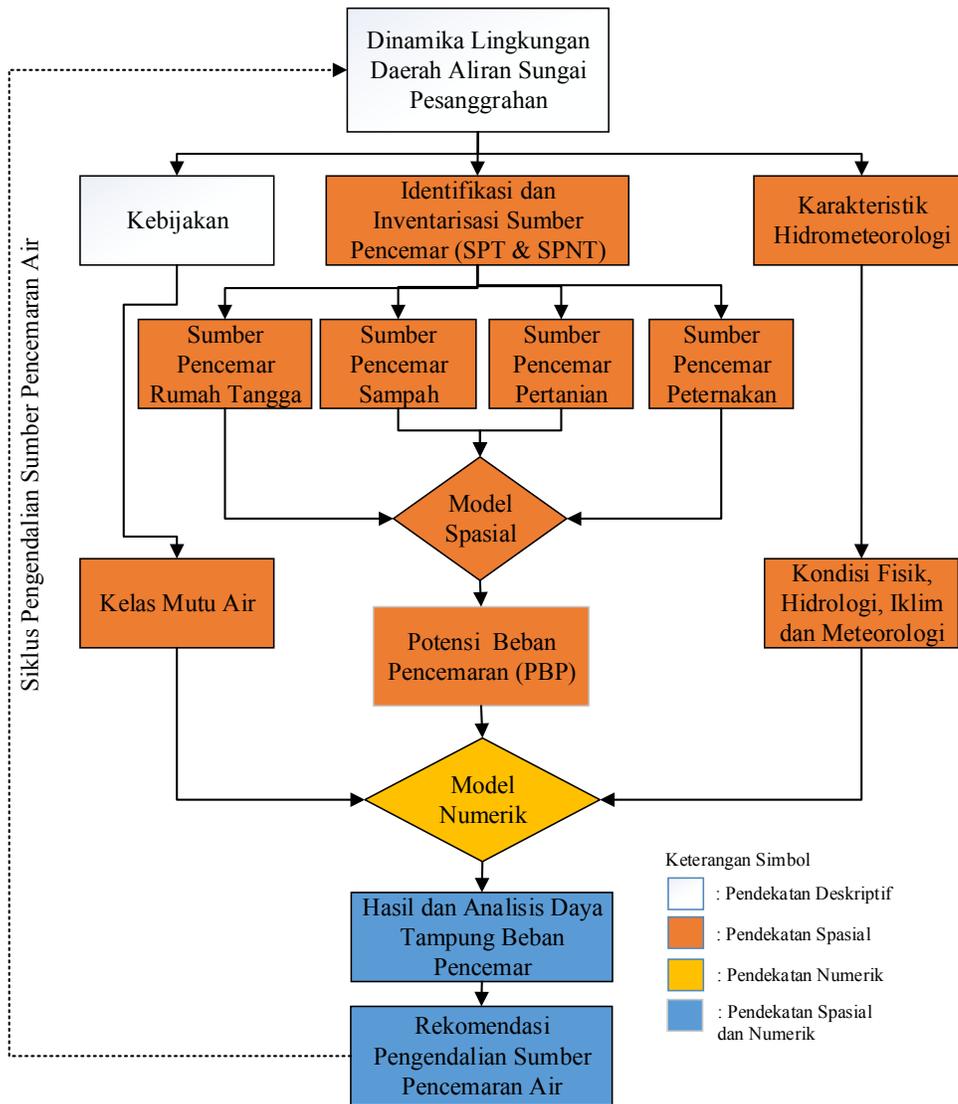
Air merupakan komponen lingkungan hidup yang penting bagi kelangsungan hidup dan kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Pencemaran merupakan salah satu penyebab penurunan kualitas air sehingga air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Penyebab terjadinya pencemaran air yaitu masuknya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam tubuh air oleh kegiatan manusia yang umumnya disebut sebagai limbah. Upaya untuk

memantau pencemaran air dapat dilakukan dengan melakukan inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar sehingga dapat diketahui potensi dan sumber pencemaran. Sumber pencemar berdasarkan penyebarannya terdiri dari sumber pencemar tertentu (*point source*) atau sumber pencemar tak tentu (*non point source*). Pencemar tertentu umumnya bersifat lokal dengan volume relatif tetap misalnya: domestik, industri, hotel, rumah sakit dan gedung-gedung komersial. Sumber pencemar tersebut sering juga dinamakan dengan sumber pencemar institusi. Sementara itu, sumber pencemar tidak tentu (*diffuse*) atau bukan titik (*non point source*) adalah sumber pencemar yang dibawa oleh air larian (*runoff*) pada saat atau setelah terjadinya hujan. Sumber pencemar tersebut meliputi air larian di perkotaan, pertanian, peternakan, hutan dan pertambangan, termasuk limbah rumah tangga.

Inventarisasi sumber pencemar air adalah kegiatan penelusuran, pendataan dan pencacahan terhadap seluruh aktivitas yang berpotensi menghasilkan air limbah yang masuk ke sumber air. Dalam penelitian ini, identifikasi sumber pencemar air diartikan sebagai kegiatan penelaahan, penentuan dan penetapan besaran dari masing-masing sumber pencemar air. Identifikasi sumber pencemar akan didekati dengan menggunakan model spasial dengan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis, sehingga dapat diperoleh angka-angka besaran beban pencemar dan sekaligus lokasi keberadaannya.

Selanjutnya Pengertian Daya Tampung Lingkungan Hidup menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Pengelolaan dan Perlindungan Lingkungan adalah kemampuan lingkungan hidup untuk menyerap zat, energi, dan atau komponen lain yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya. Berdasarkan Keputusan Menteri No 110 tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air pasal 1 ayat a diuraikan bahwa daya tampung beban pencemaran air adalah kemampuan air pada suatu sumber air, untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar. Penetapan daya tampung beban pencemaran merupakan salah satu upaya dalam penyusunan Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (RPPLH) yang diamanatkan oleh undang-undang.

Inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar dan daya tampung beban pencemaran air merupakan hal yang saling terkait. Sumber pencemar memberikan kontribusi pencemar pada badan air perlu diketahui keberadaannya baik secara lokasi maupun besarnya, sehingga daya tampung beban pencemaran air di sungai dapat dikelola secara baik dan menyeluruh mencakup persoalan pada sumber pencemarnya. Untuk itu dalam penelitian ini digunakan dua pendekatan model yaitu numerik dan spasial. Model numerik dengan perangkat lunak QUAL2Kw digunakan untuk analisis daya tampung dan model spasial digunakan untuk analisis sumber dan besaran beban pencemar yang masuk dalam badan air. Kerangka pemikiran dalam penelitian ini secara keseluruhan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Kerangka Pemikiran Penelitian

### Perumusan Masalah

- 1) Kualitas air sungai Pesanggrahan yang cenderung menurun perlu mendapatkan perhatian dalam pengelolaannya.
- 2) Pemerintah melalui Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 110 Tahun 2003 dan Peraturan Pemerintah No. 01 Tahun 2010 telah menetapkan pedoman penetapan DTBPA pada sumber air.
- 3) Penelitian DTBPA di Sungai Pesanggrahan belum pernah di lakukan.
- 4) Penelitian DTBPA perlu di lakukan secara terintegrasi dengan analisis spasial terhadap sumber-sumber pencemarnya sehingga penetapan DTBPA dapat diikuti dengan kebijakan pengendalian penurunan tingkat pencemaran dari setiap sumber pencemar dengan lebih terpadu secara kewilayahan.

Pertanyaan penting yang dapat dijawab melalui penelitian ini antara lain:

- 1) Bagaimana model pendekatan spasial dilakukan sehingga bisa digunakan untuk identifikasi sumber pencemar dan penyusunan model pengendalian pencemaran air limbah ?
- 2) Berapa besar daya tampung beban pencemar sungai pesanggrahan pada segmen Kota Depok Jawa Barat ?

### **Tujuan Penelitian**

- 1) Melakukan identifikasi sumber pencemar dan analisis potensi beban pencemar yang masuk ke sungai dengan menggunakan pendekatan spasial menggunakan perangkat lunak SIG.
- 2) Menghitung dan menganalisis DTBPA sungai Pesanggrahan di segmen Kecamatan Sawangan, Kecamatan Limo dan Kecamatan Cinere Kota Depok dengan model numerik QUAL2Kw.

### **Manfaat Penelitian**

- 1) Memberikan informasi ilmiah bagi segenap stake holder mengenai daya tampung beban pencemaran Sungai Pesanggrahan di segmen Kota Depok.
- 2) Memberikan informasi ilmiah bagi segenap stake holder mengenai potensi dan sumber pencemar yang masuk Sungai Pesanggrahan segmen Kota Depok.
- 3) Sebagai salah satu bahan masukan bagi segenap stake holder untuk menerapkan berbagai pilihan kebijakan dalam rangka pengendalian kualitas air di Sungai Pesanggrahan segmen Kota Depok.
- 4) Menyediakan alat dan metode bagi masyarakat, lembaga swadaya masyarakat, dan staf pemerintah, di wilayah setempat dan tempat lain, untuk melakukan pemantauan terhadap sumber pencemar di sungai secara berkelanjutan.
- 5) Mendukung pemerintah dan masyarakat untuk lebih mampu melakukan pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan secara produktif dan lestari.

### **Ruang Lingkup**

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada perhitungan Potensi Beban Pencemar (PBP) dan DTBPA. PBP yang masuk di sepanjang sungai dihitung berdasarkan faktor *effluent* dari setiap jenis sumber pencemar dengan analisis spasial menggunakan SIG yang dibatasi pada parameter BOD, COD dan TSS. Jenis sumber pencemar yang dianalisis adalah dari limbah rumah tangga, pertanian, peternakan dan sampah. Lokasi sumber pencemar ditelusuri dengan SIG, sehingga hasil perhitungan dan penelusuran lokasi PBP digunakan untuk dasar perhitungan program kegiatan penurunan Beban Pencemar. DTBPA dihitung dengan model numerik menggunakan perangkat lunak QUAL2Kw. Dalam metode ini kualitas air hasil model yang terbaik diperoleh setelah melalui uji model dengan cara membandingkan kualitas air hasil model dengan kualitas air hasil sampling (pemantauan).

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan batas satuan ekologi dalam melaksanakan penelitian. Hal ini sesuai dengan batasan menurut Rauf *et al.* dalam Agustira *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa DAS adalah sebagai suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

### Pencemaran Air Sungai

Pencemaran adalah perubahan sifat fisik, kimia dan biologi yang tidak dikehendaki pada udara, tanah dan air (Odum 1971). Menurut Saeni (1989), pencemaran adalah peristiwa adanya penambahan bermacam-macam bahan sebagai hasil dari aktivitas manusia, kedalam lingkungan yang biasanya dapat memberikan pengaruh yang berbahaya terhadap lingkungannya. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain kedalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan tidak lagi berfungsi sesuai peruntukannya.

Menurut Kurniadi *et al.* (2015) sungai merupakan salah satu ekosistem perairan darat yang aliran airnya satu arah dan mengalir dari dataran tinggi menuju ke dataran rendah dan akan menuju suatu muara sungai. Sungai dapat berperan sebagai sumber air untuk irigasi, habitat organisme perairan, kegiatan perikanan, perumahan dan sebagai daerah tangkapan air. Peran sungai yang beragam seiring dengan berkembangnya aktivitas manusia di sekitar sungai akan berdampak pada penurunan kualitas air. Selanjutnya dinyatakan juga bahwa bahan pencemar yang masuk ke badan sungai secara terus menerus tanpa adanya kontrol terhadap sumber pencemar diperkirakan akan merubah dan mempengaruhi kualitas perairan sungai.

### Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan merupakan bagian penting yang mempunyai pengaruh pada kualitas air sungai. Penggunaan lahan sebagai representasi dari aktivitas manusia, merupakan penghasil limbah yang selanjutnya berpengaruh terhadap kualitas air sungai (Widyatuti dan Marfai 2004). Menurut Leopold dan Dunne dalam Sudadi *et al.* (1991) perubahan penggunaan lahan secara umum akan mengubah karakteristik aliran sungai, total aliran permukaan, kualitas air dan sifat hidrologi daerah yang bersangkutan. Sudadi *et al.* (1991) menyebutkan bahwa

pengaruh penggunaan lahan terhadap aliran sungai terutama erat kaitannya dengan fungsi vegetasi sebagai penutup lahan dan sumber bahan organik yang dapat meningkatkan kapasitas infiltrasi. Menurut Sutamiharja (1978) kegiatan pertanian secara langsung ataupun tidak langsung dapat mempengaruhi kualitas perairan yang diakibatkan oleh penggunaan pupuk buatan dan pestisida. Perubahan lahan menjadi daerah permukiman cenderung berdampak negatif, khususnya bila ditinjau dari segi erosi.

### **Sumber Pencemar**

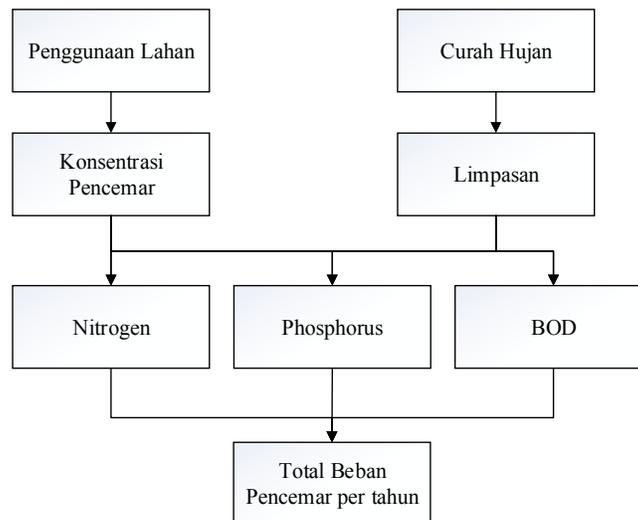
Menurut Asdak (2002) sumber pencemar air sungai dapat diklasifikasi menjadi dua macam yaitu sumber pencemar titik dan sumber pencemar non titik. Sumber pencemar titik menunjukkan buangan polutan yang ditimbulkan oleh sumber spesifik atau lokasi tertentu (SPT), sedangkan sumber pencemar non titik menunjukkan polusi yang terkumpul dan ditransportasi serta dibuang lewat limpasan air pada suatu kawasan. Sumber pencemar non titik sering juga disebut sumber area sumber menyebar (*diffuse source*) atau sumber tidak tentu (SPNT).

Menurut Peraturan Menteri nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air disebutkan bahwa sumber pencemar terdiri dari sumber pencemar tertentu dan sumber pencemar tak tentu. Sumber pencemar tertentu adalah sumber-sumber pencemar air secara geografis dapat ditentukan lokasinya dengan tepat. Sumber pencemar tak tentu adalah sumber-sumber pencemar air yang tidak dapat ditentukan lokasinya secara tepat, umumnya terdiri dari sejumlah besar sumber-sumber individu yang relatif kecil. Limbah yang dihasilkan antara lain berasal dari kegiatan pertanian, pemukiman, dan transportasi. Selanjutnya dalam penelitian ini sumber pencemar akan terbagi menjadi dua yaitu sumber pencemar tertentu (SPT) dan sumber pencemar tidak tentu (SPNT).

### **Sistem Informasi Geografi**

Sistem Informasi Geografi (SIG) merupakan suatu sistem yang digunakan untuk memperoleh, menyimpan, memanggil kembali, menganalisis dan menampilkan data spasial (Burrough 1998). Analisis spasial merupakan kumpulan teknik dan model yang secara eksplisit menggunakan referensi spasial yang terkait dengan masing-masing nilai data atau objek yang ditentukan dalam sistem yang diteliti (Haining 2003).

Menurut Eisakhani *et al.* (2009) SIG dapat digunakan untuk modeling lingkungan seperti mendelineasi daerah aliran sungai, wilayah curah hujan dan indentifikasi sumber pencemar secara mudah dan akurat. Eisakhani *et al.* (2009) menggunakan SIG untuk penilaian sumber pencemar *non point source* di Cameron Highlands. Data yang digunakan meliputi data elevasi yang tersedia, jaringan sungai, curah hujan, debit dan penggunaan lahan data set dari Cameron Highlands untuk estimasi beban polutan tahunan rata-rata dalam bentuk total nitrogen, fosfor dan kebutuhan oksigen biokimia (BOD). Kemampuan GIS dalam mengintegrasikan database dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2 Model GIS dalam penilaian sumber pencemar tak tentu  
(Sumber : Eisakhani 2009).

### Model Kualitas Air

Model adalah representasi suatu sistem kompleks yang disederhanakan. Pemodelan dimaksudkan untuk menggantikan kondisi nyata (*real world*) sehingga memungkinkan untuk mengukur dan bereksperimen secara mudah dan murah, sebagai pengganti eksperimen yang tidak mungkin dilakukan di laboratorium, atau terlalu mahal, atau membutuhkan waktu yang lama (*time-consuming*) (Kurniawan 2010). Selain itu, pemodelan juga merupakan satu cara pengorganisasian dan sintesis data lapangan untuk analisis kuantitatif, dalam hal ini pemodelan berperan sebagai alat untuk mengoptimalkan fungsi data dan informasi untuk mencapai tujuan kegiatan.

Menurut Wang *et al.* (2013) model kualitas air permukaan dapat menjadi alat yang berguna untuk mensimulasikan dan memprediksi tingkat, distribusi dan risiko yang diberikan polutan kimia dalam tubuh air. Pemodelan kualitas air dapat diterapkan untuk perhitungan DTBPA di sumber air, seperti; sungai, danau atau waduk serta muara sungai (estuari). *Streams model* misalnya memodelkan persebaran dan perubahan fisik, kimia dan biologi (*fate*) zat pencemar di sungai. Model ini mempertimbangkan faktor kondisi iklim lokal, kondisi hidrolis dari badan sungai (kedalaman, lebar, gradien dan material penyusun dasar sungai), sifat dan perilaku zat pencemar. Selain itu, juga memperhitungkan pengambilan air sungai (*abstraction*) serta interaksi antara sungai dengan air tanah berupa aliran dasar (*baseflow*) yang diintegrasikan dalam model.

Menurut Kannel *et al.* (2011) model kualitas air yang banyak digunakan dan tersedia bebas antara lain adalah SIMCAT (Simulation Catchment), TOMCAT (*Temporal Overall model for Catchments*), WASP7 (*Water Quality Analysis Simulation Program*), QUASAR (*Quality Simulation Along Rivers*), QUAL2EU dan QUAL2Kw. Model tersebut mempunyai perbedaan dalam hal proses yang

mendasari, input, asumsi dan aplikasinya. Model SIMCAT dan TOMCAT merupakan model yang banyak menyederhanakan proses-proses yang terjadi di dalam sungai sehingga diperoleh hasil prediksi yang cepat, namun kurang akurat. Model WASP7 dan QUASAR mensimulasikan proses-proses yang kompleks dalam sungai dan memerlukan banyak data sehingga menimbulkan kesulitan dalam alokasi waktu dan biaya. Lebih lanjut dikemukakan oleh Kannel *et al.* (2011) bahwa pada model QUAL2EU dan QUAL2Kw dapat dikategorikan menengah apabila dibandingkan dengan model SIMCAT dan TOMCAT serta WASP7 dan QUASAR. Model QUAL2Kw memiliki kelebihan untuk fasilitas konversi kematian alga menjadi carbonaceous BOD (CBOD) sehingga lebih sesuai untuk perairan yang terdiri dari macrophyte dari pada QUAL2EU. Model QUAL2Kw telah diterapkan di beberapa sungai di dunia, salah satunya pada Sungai Bagmati di Nepal. Menurut Kannel *et al.* (2007) hasil penelitian pada Sungai Bagmati menjamin penggunaan model QUAL2Kw sebagai pilihan untuk menentukan kebijakan kualitas air sungai di masa depan.

Perangkat lunak QUAL2Kw adalah suatu kerangka kerja pemodelan yang ditujukan untuk memperbaharui QUAL2E (Brown dan Barnwell, 1987) yang merupakan standar model kualitas air *United State Environment Protection Agency* (US-EPA). Untuk menyesuaikan dengan ilmu pengetahuan terkini, kerangka kerjanya juga memasukkan beberapa fitur baru yang memungkinkan diaplikasikannya model ini pada aliran dangkal di hulu sungai (Pelletier *et al.* 2005). Menurut Pelletier and Chapra (2008), QUAL2Kw dan QUAL2E memiliki kemiripan dalam aspek-aspek sebagai berikut :

- 1) *One dimensional* (satu dimensi). Air dalam sungai dianggap tercampur dengan baik secara vertical maupun lateral.
- 2) *Steady state hydraulics* (hidrolika aliran tunak). *Non-uniform*, aliran tunak dalam hal ini disimulasikan.
- 3) *Diel heat budget*. Neraca panas dan temperature disimulasikan sebagai fungsi meteorology pada skala waktu (*diel time scale*).
- 4) *Diel water-quality kinetics*. Semua variabel kualitas air disimulasikan pada satu skala waktu (*diel time scale*).
- 5) *Heat and mass inputs*. Beban *point* dan *non-point* serta pengambilan air (*withdrawals*) disimulasikan.

Kerangka kerja QUAL2Kw mengandung unsur-unsur yang baru, antara lain:

- 1) *Software Environment and Interface*. QUAL2K diimplementasikan pada lingkungan *Microsoft Windows*. Perhitungan-perhitungan numerik diprogramkan pada *Fortran 90*. *Excel* digunakan sebagai *graphical user interface*. Semua operasi *interface* diprogram dalam *Microsoft Office 8 Macro Language: Visual Basic for Applications* (VBA).
- 2) *Model Segmentation*. QUAL2E membagi sistem sungai ke dalam penggal-penggal dengan panjang yang sama. QUAL2Kw juga membagi sistem sungai menjadi penggal-penggal, tetapi panjang setiap penggal bisa berbeda satu dengan lainnya. Di samping itu, multi pembebanan dan pengambilan air dapat dimasukkan sebagai *input* di sembarang penggal.

Model QUAL2Kw mensimulasikan perpindahan dan perubahan sejumlah komponen kualitas air seperti temperatur, *carbonaceous biochemical oxygen demand* (CBOD), oksigen terlarut (DO), *phytoplankton* dan berbagai bentuk *nutrient phosphorus* dan *nitrogen*. Model QUAL2Kw mensimulasikan beberapa komponen lain yang tidak secara tipikal dimasukkan di dalam fasilitas sistem dan juga mensimulasikan pH, alkalinitas, padatan tersuspensi (*suspended solid*), bakteri patogen, dan alga dasar. Model dapat juga mensimulasikan pengaruh penambahan polutan terhadap kualitas air sungai. Pengguna dapat secara fleksibel memilih kombinasi parameter untuk optimasi dan menspesifikasi fungsi yang tepat untuk hasil terbaik (Pelletier *et al.* 2005).

### **Daya Tampung Beban Pencemar**

Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menyatakan bahwa daya tampung lingkungan hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk menyerap zat, energi, dan/atau komponen lain yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dinyatakan bahwa Daya Tampung Beban Pencemaran Air adalah kemampuan air pada suatu sumber air untuk menerima masukan pencemaran tanpa menyebabkan air tersebut tercemar. Selanjutnya dijelaskan bahwa beban pencemaran air adalah jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air atau limbah. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 110 Tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada sumber air dinyatakan pula bahwa daya tampung beban pencemaran diartikan sebagai kemampuan air pada suatu sumber atau badan air untuk menerima beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi tercemar.

Metode yang dapat digunakan untuk menentukan daya tampung beban pencemaran pada badan air antara lain adalah metode Neraca Massa dan metode Streeter-Phelps. Namun pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 110 Tahun 2003 pasal 4 ayat (1) yang berbunyi "Apabila timbul kebutuhan untuk menggunakan metoda lain yang juga berdasarkan kaidah ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menyesuaikan dengan situasi dan kondisi serta kapasitas daerah, maka dapat digunakan metode diluar metode sebagaimana dimaksud pasal (2)". Ayat (2) berbunyi "Metode sebagai mana dimaksud dalam ayat (1) digunakan setelah mendapat rekomendasi dari instansi yang bertanggung jawab dibidang lingkungan hidup dan pengendalian dampak lingkungan". Jadi selain kedua metode diatas yaitu Neraca Massa dan metode Streeter-Phelps maka metode QUAL2E yang kemudian menjadi QUAL2Kw telah direkomendasikan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup melalui Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 110 Tahun 2003, sebagaimana ditunjukkan pada lampiran III.

Menurut Kurniawan (2010) beberapa faktor yang menentukan daya tampung beban pencemaran air di sungai adalah sebagai berikut:

- 1) kondisi hidrologi, hidrolika dan morfologi sungai termasuk kualitas air badan air yang ditetapkan Daya Tampungnya;

- 2) kondisi klimatologi dan meteorologi seperti suhu udara, kecepatan angin dan kelembaban udara;
- 3) baku mutu air atau kelas air sungai;
- 4) beban pencemar sumber tertentu/*point source*;
- 5) beban pencemar sumber tak tentu/*non-point source*;
- 6) karakteristik dan perilaku zat pencemar yang dihasilkan sumber pencemar;
- 7) pemanfaatan atau penggunaan sungai;
- 8) faktor pengaman (*margin of safety*) yang merupakan nilai ketidakpastian dalam perhitungan karena tidak memadainya data dan informasi tentang hidrolika dan morfologi sungai, dan juga karena kurangnya pengetahuan mengenai karakteristik dan perilaku zat pencemar.

Dalam penelitian ini faktor-faktor yang dikemukakan oleh Kurniawan (2010) digunakan sebagai pertimbangan untuk melakukan beberapa penyesuaian penggunaan QUAL2Kw dalam perhitungan daya tampung beban pencemaran sungai.

### **Keaslian Penelitian**

Penelitian yang mengintegrasikan metode QUAL2Kw dan SIG belum banyak dilakukan. Beberapa penelitian yang menggunakan metode ini atau salah satu metode, antara lain dilakukan oleh Baherem (2014), Manurung (2014), Abdi (2011), Lin *et al.*(2009), Turner *et al.* (2009) dan Kannel *et al.* (2007).

Baherem (2014) menganalisis lokasi sumber pencemar dan mengkuantifikasi beban pencemaran serta menganalisis nilai daya tampung beban pencemaran sungai Cibanten. Lokasi sumber pencemar didekati dengan batas administrasi Kecamatan dan kuantifikasi beban pencemaran dengan pendekatan faktor emisi. Analisis daya tampung beban pencemaran dengan menggunakan model QUAL2Kw. Potensi beban pencemar limbah total *non point source* (NPS) dari seluruh sumber pencemar yang dianalisa (peternakan, penduduk, persampahan, pertanian, rumah sakit, hotel dan industri) untuk parameter BOD, COD dan TSS, kontribusi yang terbesar adalah dari sektor penduduk (Rumah Tangga). Analisis daya tampung dengan model QUAL2Kw menunjukkan daya tampung beban pencemar di wilayah penelitian sudah melewati kapasitas daya tampung sungai.

Manurung (2014) menghitung beban pencemaran setiap sumber pencemar dan daya tampung beban pencemaran di sungai Ciliwung. Tujuan penelitian ini sama dengan yang dilakukan penulis, tetapi metode SIG dan pemodelan QUAL2Kw tidak digunakan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan sumber pencemar yang dominan berasal dari limbah domestik dan secara keseluruhan beban pencemar yang masuk ke sungai Ciliwung sudah melampaui daya tampung beban pencemar.

Abdi (2011) selain mengidentifikasi lokasi sumber-sumber pencemar dan menghitung beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran, penelitiannya juga menguji reliabilitas penggunaan model QUAL2Kw untuk menghitung beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran di sungai

Batanghari. Hasil uji reliabilitas dengan *relative bias* dan *mean relative error* menunjukkan pemodelan QUAL2Kw dapat diterima di daerah penelitian, namun uji korelasi pada grafik pencar menunjukkan model hanya berlaku pada satu set data pemantauan saja. Selain menggunakan QUAL2Kw, Abdi (2011) menggunakan SIG untuk pembuatan peta-peta tematik, perhitungan luas, jarak dan koordinat lokasi, dalam perhitungan DTBP di sungai Batanghari, namun SIG belum digunakan untuk penelusuran sumber pencemar.

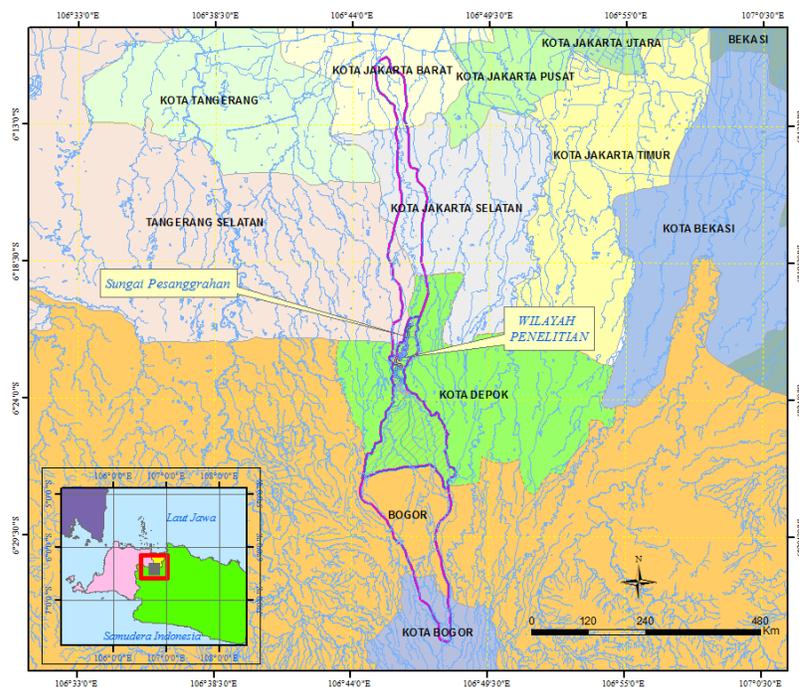
Lin *et al.* (2009) menggunakan QUAL2E untuk membangun sistem pengelolaan dan perlindungan daerah aliran sungai Kao-Ping Taiwan, sebagai sumber air minum, dimana pengembangan lahan dilarang dengan alasan-alasan kesehatan dan penyediaan air minum yang sehat. QUAL2E merupakan versi terdahulu dari QUAL2Kw. Hasil penelitian adalah diperolehnya zona lindung yang paling optimal yang kemudian digunakan untuk memperkirakan jumlah biaya kompensasi didasarkan pada tiga mekanisme, yaitu: *land banking*, *conservation easement*, dan *transferable development rights*.

Kannel *et al.* (2007) mensimulasi beberapa variasi strategi pengelolaan kualitas air dengan QUAL2Kw di Sungai Bagmati, Nepal, selama periode kritis (kemarau) untuk mempertahankan mutu air sasaran dimana DO minimum 4 mg/L atau lebih; BOD maksimum 3 mg/L; Total N 2,5 mg/L; Total P 0,1 mg/L; temperatur air kecil atau sama dengan 20°C; pH pada rentang: 6,5–8,5, dengan mempertimbangkan modifikasi beban pencemar, penambahan debit dan oksigenasi lokal. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa oksigenasi lokal efektif untuk mempertahankan kandungan DO minimum di sungai. Kombinasi antara modifikasi air limbah, penambahan aliran dan oksigenasi lokal cocok untuk mempertahankan batas kualitas air yang diperbolehkan.

### 3 METODE PENELITIAN

#### Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Daerah Aliran Sungai Pesanggrahan. Sungai Pesanggrahan melintasi tiga provinsi, mengalir dari wilayah Kabupaten Bogor dan Kota Depok Provinsi Jawa Barat, Kota Tangerang Selatan Provinsi Banten, sampai ke wilayah Jakarta Selatan, Jakarta Barat, dan Jakarta Utara, di Provinsi DKI Jakarta. Pengambilan data penelitian berlangsung selama 3 bulan sejak bulan Oktober hingga Desember 2014. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Peta Lokasi Penelitian

#### Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Data Digital Peta Rupa Bumi Indonesia , Skala 1 : 25.000, Skala 1 : 250.000, dengan kegunaan untuk alat bantu orientasi kegiatan lapangan, pembagian ruas-ruas sungai, plotting lokasi sampel serta orientasi kondisi wilayah penelitian secara umum
- 2) Data Digital Peta Megapolitan, skala 1 : 1000 – 1 : 25.000, dengan kegunaan untuk alat bantu orientasi terinci mengenai kondisi wilayah penelitian dan berguna untuk delineasi batas zona pengaliran air limbah.

- 3) Data SRTM 90 m (USGS), dengan kegunaan untuk alat bantu menetapkan batas DAS dan pola aliran dari wilayah penelitian, untuk memperkirakan kemiringan dasar saluran sungai.
- 4) GPS dengan kegunaan untuk menentukan koordinat lokasi pengukuran dan pengamatan di lapangan
- 5) Distance Meter / Meteran kegunaan untuk mengukur Lebar sungai
- 6) Abney Level kegunaan untuk mengukur kemiringan gradien sungai
- 7) Botol Sampel kegunaan untuk tempat menampung sampel air
- 8) Coolbox kegunaan untuk tempat menyimpan botol sampel air sebelum sampai ke laboratorium
- 9) Label kegunaan untuk memberi nama atau kode sampel, untuk membuat catatan hasil pengamatan dan pengukuran di lapangan
- 10) Kamera kegunaan untuk mendokumentasikan kegiatan lapangan
- 11) Es batu untuk mempertahankan suhu / mendinginkan cool box sebagai upaya pengawatan sampel air
- 12) Alumunium foil untuk membungkus botol sampel air untuk analisa BOD agar tidak terkena cahaya
- 13) Bahan Pengawet NaOH 0,1 N atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N untuk menetralkan apabila sampel bersifat asam sampai pH antara 6,5 – 7,5 , dan Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, 0,025 N untuk menghilangkan Cl<sub>2</sub> apabila sampel mengandung sisa Cl<sub>2</sub> serta Aquades untuk larutan pengencer apabila contoh uji tidak mengandung mikroorganisme pengurai.
- 14) Label serta alat tulis dan gambar
- 15) Notebook / Personal Komputer dan perangkat lunak office untuk pengolahan data , analisis dan penulisan laporan
- 16) Perangkat Lunak QUAL2Kw untuk pemodelan kualitas air
- 17) Perangkat Lunak SIG: Arcgis 10.1, dengan kegunaan untuk analisis spasial, pembuatan peta-peta penelitian
- 18) Perangkat lunak SIG: Global Mapper 15, dengan kegunaan untuk analisis batas DAS.

### **Data dan informasi**

Data dan informasi dalam penelitian adalah sebagai berikut :

- 1) Data digital Peta Rupa Bumi Indonesia, skala 1 : 250,000 hingga skala 1 : 25,000
- 2) Data digital Peta Megapolitan, skala 1 : 2,000 – 1 : 25.000
- 3) Data digital peta administrasi kelurahan, BPS
- 4) Data digital batas DAS sungai Pesanggrahan
- 5) Data SRTM 90 m, USGS
- 6) Data BPS
- 7) Kualitas air di hulu dan hilir
- 8) Elevasi sungai dan posisi geografis
- 9) Profil hidrolis sungai: panjang, kecepatan aliran, kedalaman, kemiringan dan lebar sungai
- 10) Klimatologi dan Meteorologi: temperatur udara, curah hujan, titik embun, kecepatan angin, tutupan awan, tutupan tajuk pohon atau benda lain dan penyinaran matahari

- 11) Sumber tertentu / *point source* (*effluent* industri, saluran air, drainase, anak sungai): lokasi, debit, konsentrasi
- 12) Sumber tak tentu/*non-point source* (limbah rumah tangga), pertanian dan peternakan : lokasi, debit, konsentrasi
- 13) Pengambilan air sungai (*point abstraction*) untuk rumah tangga, industri atau pengolahan air minum: lokasi dan debit
- 14) Resapan (seepage) air sungai ke air tanah (*non-point abstraction*): lokasi dan debit
- 15) Kualitas air hasil monitoring di sepanjang sungai

### **Prosedur Analisis Spasial**

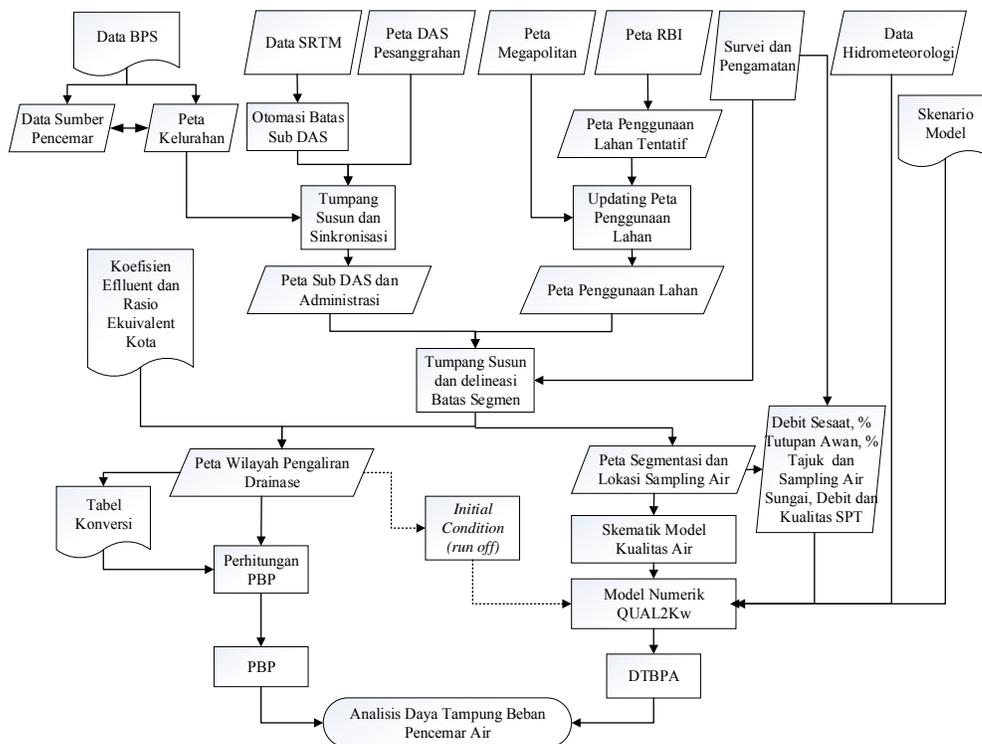
Analisis spasial adalah proses penggalian atau menciptakan informasi baru tentang serangkaian fitur geografis. Analisis spasial berguna untuk mengevaluasi kesesuaian dan kemampuan, untuk memperkirakan dan memprediksi serta untuk menafsirkan dan memahami fitur geografis. Analisis spasial sering disebut sebagai model. Tiga kategori fungsi pemodelan spasial yang dapat diterapkan pada objek data geografis : (1) model geometris, seperti menghitung jarak Euclidian antara objek, menghasilkan *buffer*, menghitung daerah dan batas-batas, (2) *coincidence* model, seperti *overlay* poligon, *intersection*, (3) model *adjacency* (*pathfinding*, *redistricting* dan alokasi). Semua tiga kategori Model mendukung operasi pada objek data geografis seperti titik, garis, poligon, tin, dan grid. Fungsi diatur dalam urutan langkah-langkah untuk memperoleh informasi yang diinginkan di dalam analisis spasial. Diagram prosedur analisis spasial disajikan pada Gambar 4.

Dalam penelitian ini analisis spasial ditujukan untuk menganalisis sumber pencemar pada satuan wilayah administrasi, Daerah Aliran Sungai atau batas Wilayah Pengaliran Drainase. Wilayah Pengaliran Drainase adalah satuan unit analisis yang diperoleh berdasarkan hasil analisis peta Sub DAS dan Peta Penggunaan lahan serta Peta Megapolitan wilayah Depok. Wilayah Pengaliran Drainase (WPD) adalah wilayah yang mengalirkan semua limbah cair dari dalam wilayah drainase tersebut yang terbuang menuju ke segmen sungai dibawahnya.

Untuk itu pengolahan data dan perhitungan Potensi Beban Pencemar (PBP) dari SPNT menggunakan analisis spasial dengan perangkat lunak SIG Arcgis. Pengolahan data spasial ini terutama ditujukan untuk mendapatkan angka konversi dari satuan administrasi wilayah kelurahan ke satuan unit DAS atau WPD yang merupakan satuan unit analisis dalam pengelompokan SPNT. Data jumlah dan persebaran penduduk dan peta administrasi kelurahan didapatkan dari Badan Pusat Statistik (BPS).

Prosedur analisis spasial diawali menyiapkan peta Administrasi dengan format *shape file* yang sudah diinput data BPS. Peta Batas DAS Pesanggrahan diperoleh dari Dinas Provinsi Pekerjaan Umum Jakarta, sedangkan peta sub DAS diperoleh dari hasil otomasi analisis *watershed* dari data SRTM dengan menggunakan perangkat lunak GIS Global Mapper. Analisis spasial menggunakan teknik *overlay* secara multi layer (beberapa data peta) yaitu Peta Administrasi Kelurahan, DAS, Penggunaan Lahan dan Peta Megapolitan Jabodetabek yang mempunyai skala 1 : 2,000 hingga 1 : 25,000. Proses ini menghasilkan Peta Dasar

Penelitian dengan unit analisis baru yang mengandung unsur batas administrasi kelurahan, Sub DAS dan Penggunaan Lahan. Selanjutnya dari peta tersebut dianalisis dan didelineasi batas Wilayah Pengaliran Drainasenya (WPD) dan delineasi batas segmen. Garis batas segmen pada dasarnya berimpit dengan batas WPD, sehingga batas segmen merupakan *key link* dari badan sungai dengan WPD. Peta WPD merupakan peta yang menggambarkan unit satuan analisis spasial yang mengandung unsur-unsur batas Administrasi (Kelurahan, Kecamatan, Kabupaten dan Provinsi), batas Sub DAS, penggunaan lahan serta satuan panjang segmen (km). Peta WPD merupakan peta dasar untuk perhitungan dan identifikasi sumber pencemar dalam analisis PBP. Selain itu berdasarkan Peta WPD diperoleh skematik segmentasi sungai untuk input dan proses perhitungan DTBPA menggunakan model numerik dengan perangkat lunak QUAL2Kw.



Gambar 4 Prosedur Analisis Spasial

### Parameter Kunci

Parameter kunci dalam penelitian ini adalah BOD, COD dan TSS, dengan pertimbangan bahwa parameter tersebut dapat mewakili gambaran tingkat kualitas air sungai untuk berbagai peruntukan.

Menurut Effendi (2003) BOD atau kebutuhan oksigen biologis adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan buangan organik yang ada di dalam perairan. Proses penguraian bahan organik oleh bakteri memerlukan waktu 10 hari pada suhu 20 °C, tetapi di

laboratorium digunakan waktu 5 hari sehingga dikenal dengan BOD5. Pada umumnya lingkungan air mengandung organisme yang dapat memakan, memecah, mendegradasi bahan buangan organik. Jumlah mikroorganisme didalam lingkungan air tergantung pada tingkat kebersihan air. Air yang bersih biasanya mengandung mikroorganisme yang relatif sedikit dibandingkan dengan air yang telah tercemar oleh bahan buangan. Air lingkungan yang telah tercemar oleh bahan buangan yang bersifat antiseptik atau bersifat racun, seperti phenol, kreolin, deterjen, asam sianida, insektisida jumlah mikroorganismenya juga relatif sedikit. Mikroorganisme yang memerlukan oksigen untuk memecah bahan buangan organik disebut dengan bakteri aerob, sedangkan mikroorganisme yang tidak memerlukan oksigen disebut dengan bakteri anaerob. Menurut Wardhana (2001) proses penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme atau oleh bakteri aerobik dipecah dan diuraikan menjadi gas CO<sub>2</sub>, air dan NH<sub>3</sub>. Timbulnya senyawa NH<sub>3</sub> menyebabkan bau busuk pada perairan yang telah tercemar oleh bahan buangan organik. Reaksi tersebut diatas memerlukan waktu yang cukup lama, kira-kira 10 hari. Dalam waktu 2 hari mungkin reaksi telah mencapai 50% dan dalam waktu 5 hari mencapai sekitar 75%. BOD memberikan gambaran seberapa banyak oksigen yang telah digunakan oleh aktivitas mikroba selama kurun waktu yang ditentukan (Alaerts dan Santika 1984). Semakin besar nilai BOD semakin besar tingkat pencemaran air oleh bahan organik.

Kebutuhan oksigen kimia (COD) adalah ukuran banyaknya oksigen total dalam satuan miligram per liter yang diperlukan dalam proses oksidasi kimia bahan organik dalam limbah. Bahan oksidasi yang digunakan adalah kalium dikromat dan merupakan zat pengoksidasi yang kuat untuk mengoksidasi zat organik secara lengkap dalam suasana asam dengan katalis peraksulfat. Bakteri dapat mengoksidasi zat organik menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O sehingga menghasilkan nilai COD yang lebih tinggi dari BOD untuk air yang sama. Bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. Adanya hubungan antara BOD dan COD, hal ini didasarkan karena jumlah senyawa kimia yang dapat dioksidasi secara kimiawi lebih besar dibanding dengan oksidasi secara biologis (Alaerts dan Santika 1984).

Padatan Tersuspensi Total (*Total Suspend Solid, TSS*) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter > 1 µm ) yang tertahan pada saringan Millipore dengan diameter pori 0,45 µm. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. Padatan tersuspensi dikategorikan dalam padatan sulit mengendap, sehingga tidak dapat dihilangkan dengan pengendapan gravitasi konvensional (Suprihatin dan Suparno 2013).

### **Perkiraan Beban Pencemaran Air**

Berdasarkan Peraturan Menteri Negera Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air, karakteristik limbah dapat dibedakan menjadi limbah domestik dan limbah non domestik. Limbah domestik dari SPT merupakan aliran limbah urban dalam sistem saluran dan sistem pembuangan limbah domestik terpadu, sedangkan limbah non domestik dari SPT

merupakan aliran limbah industri. Limbah domestik dari SPNT merupakan limbah daerah pemukiman dan limbah non domestik dari SPNT adalah aliran limbah dari pertanian, peternakan dan kegiatan usaha kecil sampai dengan menengah. Hasil telaah awal terhadap data Kecamatan dalam angka (BPS, 2014) dan Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Depok (SLHD) Kota Depok (2013) maka jenis sumber pencemar yang akan dianalisis adalah limbah domestik dan non domestik yang bersumber dari pemukiman atau kegiatan rumah tangga, pertanian, peternakan dan sampah.

Perkiraan beban pencemaran dilakukan dengan menghitung beban pencemar air yang sesuai dengan pola ruang jaringan sungai atau segmen sungai (*instream*) dan Wilayah Pengaliran Drainase (*offstream*).

### Perhitungan Beban Pencemar SPT

Perhitungan beban pencemar yang dihasilkan dari sumber tertentu (basis perkiraan emisi untuk 1 tahun / periode pelaporan) dihitung dengan persamaan (1).

$$I_i = C_i \times V \times \text{OpHrs} / 1.000.000 \text{ ----- (1)}$$

(Sumber : KLH 2010)

dalam hal ini :

$I_i$  = besar beban/ emisi pencemar  $i$ , kg/tahun

$C_i$  = konsentrasi jenis pencemar  $i$  dalam buangan air limbah (mg/l)

$V$  = laju alir buangan air limbah, ltr/jam

OpHrs = jumlah jam operasional per tahun, jam/tahun

1,000,000 = faktor konversi, mg/kg

Sumber data kualitas dan kuantitas air limbah SPT diperoleh dari hasil analisis dan pengukuran langsung di lapangan, data hasil pantau atau laporan periodik penataan ijin pembuangan air limbah. Data koordinat lokasi keberadaan SPT diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan dengan menggunakan alat GPS. Titik koordinat digunakan untuk mengetahui posisi geografis SPT terhadap segmen sungai tempat pembuangan limbahnya.

### Perhitungan Potensi Beban Pencemaran SPNT

Limbah dari proses sanitasi, bersih-bersih, emisi-emisi dari sampah padat (termasuk lindi) mengakibatkan masalah-masalah lingkungan lewat kontaminasi sumber air permukaan dan air tanah. Pencemar air bervariasi dari limbah organik sampai organik sintetis dan logam berat, bergantung pada proses pencucian dan sifat-sifat dari lindi sampah padat. Pada penelitian ini pencemaran air dari kegiatan domestik dan penggunaan barang konsumsi digolongkan sebagai SPNT. Kegiatan domestik dan penggunaan barang konsumsi yang secara khusus berasal dari sekumpulan kegiatan individu dalam suatu daerah, secara umum digolongkan sebagai sumber pencemar air tidak tentu atau *diffused sources* (KLH 2010).

### 1). Limbah Rumah Tangga

Selanjutnya menurut Iskandar (2007), Potensi Beban Pencemaran (PBP) limbah domestik dihitung menggunakan persamaan (2).

$$PBP = \alpha \times \text{Jumlah Penduduk} \times \text{Faktor } effluent \times rek \text{ ----- (2)}$$

dimana PBP adalah potensi beban pencemaran limbah domestik. Alpha ( $\alpha$ ) adalah koefisien yang menyatakan tingkat kemudahan limbah mencapai sungai yang nilainya berkisar antara 0.3 hingga 0.1. Semakin mudah limbah mencapai sungai semakin besar nilai  $\alpha$ . KLH (2013) dalam kajian perhitungan beban pencemaran di sungai Barito besaran nilai  $\alpha$  dibagi menjadi 3 kelas sebagai berikut :

- 1) Nilai  $\alpha = 1$  : daerah berjarak antara 0 sampai 100 meter dari sungai,
- 2) Nilai  $\alpha = 0.85$  : daerah berjarak diantara 100 – 500 meter dari sungai
- 3) Nilai  $\alpha = 0.3$  : daerah berjarak lebih besar dari 500 meter dari sungai.

*rek* adalah rasio ekivalen kota yang menyatakan perbedaan beban limbah domestik yang dihasilkan antara wilayah perkotaan, pinggiran dan pedalaman. Menurut Iskandar (2007) nilai besaran rasio tersebut berturut-turut adalah sebagai berikut: nilai 1 untuk daerah kota, 0.8125 pinggiran kota dan 0.6250 untuk pedalaman. Nilai faktor *effluent* dari limbah domestik adalah sebagai berikut : BOD 0.04 kg/hari, COD 0.055 kg/hari dan TSS 0.038 kg/hari (Iskandar 2007).

### 2). Limbah Peternakan

PBP dari kegiatan peternakan dihitung dengan menggunakan pendekatan faktor *effluent*. Data yang diperlukan dalam perhitungan ini adalah jenis dan jumlah ternak. Nilai faktor *effluent* yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Menurut Iskandar (2007) persamaan untuk perhitungan potensi beban pencemaran dari limbah pertanian disajikan pada persamaan (3).

$$PBP \text{ peternakan (kg/hari)} = \text{Jumlah ternak} \times \text{faktor } effluent \text{ -----(3)}$$

Tabel 1 Faktor *Effluent* Ternak

Jenis Ternak	Nilai Faktor Effluent Peternakan per Parameter				
	Koli Total (jmlh/ekor/hr)	BOD	COD	NO3	P-Total
Sapi	3.70E+06	292	716	0.1742	0.153
Domba	2.10E+05	55.68	136.23	0.0333	0.063
Ayam	4.30E+04	2.36	5.59	0.0011	0.003
Bebek	1.00E+05	0.88	2.22	0.0005	0.005

Sumber : Iskandar (2007) dimodifikasi

### 3). Limbah Pertanian

Perhitungan potensi beban pencemaran air dari aktifitas pertanian diperoleh berdasarkan data luas lahan pertanian. PBP dari penggunaan lahan pertanian dihitung dengan menggunakan nilai faktor *effluent* pada Tabel 2.

Tabel 2 Faktor *Effluent* Pertanian

Parameter Limbah Pertanian	Faktor <i>Effluent</i> kg/ha/musim tanam		
	Sawah (Jerami padi yang membusuk)	Palawija (Humus yang terkikis)	Perkebunan lain (Humus yang terkikis)
BOD	225	125	32.5
N	20	10	3
P	10	5	1.5
TSS	0,04	2,4	1.6
Pestisida	0.16	0.08	0.024

Sumber : Iskandar (2007) dimodifikasi

Persamaan untuk perhitungan potensi beban pencemaran dari limbah pertanian disajikan pada persamaan (4).

$$\text{PBP pertanian (kg/hari)} = (E \times L \times M) / dM \text{ -----(4)}$$

(Sumber : Iskandar 2007 dimodifikasi)

E adalah faktor *effluent* (kg), L adalah luas lahan (ha), M adalah banyaknya musim tanam, dM adalah lamanya musim tanam (hari).

Dalam perhitungan potensi beban pencemar dari sumber pertanian tidak terdapat nilai faktor effluent untuk parameter COD, oleh karena itu parameter COD dari sumber pertanian tidak digunakan dalam penelitian ini.

#### 4). Sampah

Besarnya sampah yang masuk ke sungai diperkirakan dengan menggunakan asumsi bahwa kemampuan pemerintah dan masyarakat dalam menangani sampah tersebut terbatas (KLH 2012). Rumus yang digunakan dalam perhitungan potensi beban pencemaran air yang bersumber dari sampah adalah:

##### a. Jumlah Sampah

Estimasi jumlah sampah yang dihasilkan per orang per hari menggunakan perkiraan jumlah sampah yang dihasilkan setiap individu per hari menurut kategori kota, hasil kajian Kementerian Lingkungan Hidup. Beban sampah total dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Beban sampah (kg/hr)} = \text{Berat sampah/orang/hari} \times \text{jumlah pddk.....(5)}$$

Jika data dalam satuan volume, maka berat sampah dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Berat sampah (kg)} = \text{Berat jenis sampah (kg/l)} \times \text{volume sampah.....(6)}$$

Perhitungan sampah menggunakan asumsi per orang menghasilkan sampah 1 kg/orang/hari.

b. Sampah yang tidak tertangani

Berat sampah yang tidak tertangani akan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Sampah}_t \text{ (kg/hr)} = \% \text{ sampah}_t \times \text{beban sampah} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :  $\text{Sampah}_t$  = sampah tidak tertangani

c. Beban BOD dari sampah

Penelitian yang dilakukan oleh Inegi dan Semarnap dalam Fadly (2008) menyatakan bahwa 1 kg sampah organik memiliki nilai BOD sebesar 2,82 gr. Nilai inilah yang menyatakan beban BOD sampah tersebut. Perhitungan potensi beban sampah dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Beban BOD sampah (kg/hr)} = \text{Sampah}_t \text{ (kg/hr)} \times (2,82/1000) \dots\dots\dots(8)$$

Untuk nilai COD dihitung dengan menggunakan asumsi  $\text{COD} = 1,375 \times \text{BOD}$ , sedangkan  $\text{TSS} = 0,95 \times \text{BOD}$  (Sumber : KLH 2012).

**Total Potensi Beban Pencemaran Air**

KLH (2013) mengkaji potensi sumber pencemar dimana total potensi beban pencemaran air merupakan hasil penjumlahan beban pencemaran sumber institusi, rumah tangga, peternakan, pertanian dan sampah yang masing-masing dihitung per kecamatan. Metode perhitungan digunakan dalam penelitian dengan persamaan (9).

$$\text{Total Beban Pencemaran Air} = \text{Beban Pencemar Rumah tangga} + \text{Beban Pencemaran Peternakan} + \text{Beban Pencemaran Pertanian} + \text{Beban Pencemar Sampah} \dots\dots\dots(9)$$

(Sumber : KLH 2013 dimodifikasi)

**Prosedur Model Numerik**

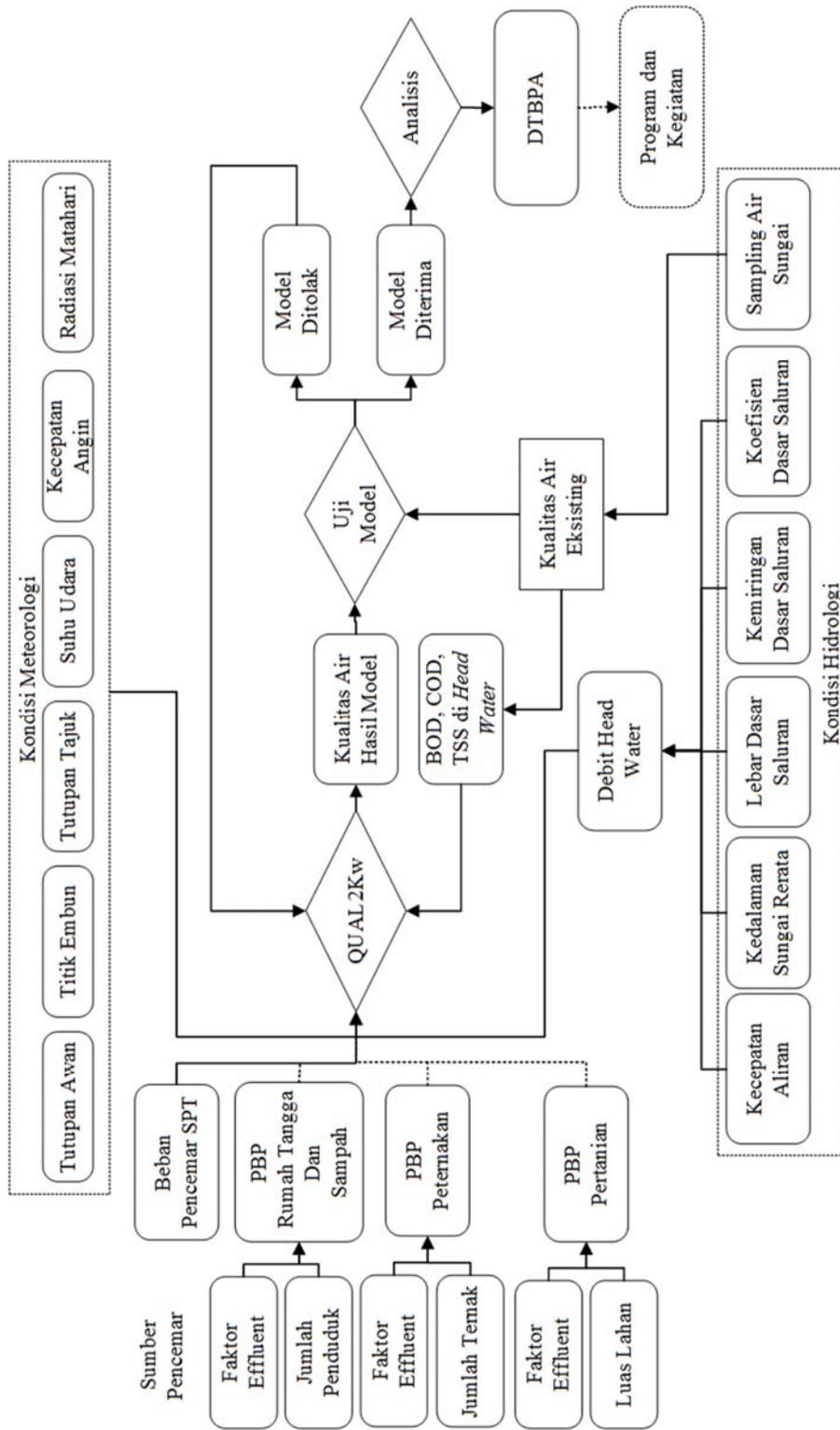
Hasil akhir dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai beban pencemaran air dan daya tampung sungai serta lokasi sumber pencemar dengan menggunakan model numerik dan spasial. Menurut Kurniawan (2013) pemodelan numerik adalah tehnik yang digunakan untuk memformulasikan persoalan riil di lapangan secara matematik sehingga dapat dipecahkan dengan operasi perhitungan atau aritmatika. Model numerik dengan perangkat lunak QUAL2Kw diawali dengan skematik model. Skematik model diperoleh berdasarkan Peta Segmentasi, data hidrologi, meteorologi, pengukuran kuantitas dan kualitas SPT serta hasil sampling kualitas air di sungai.

Kendali aktivitas penelitian adalah pada pengujian penggunaan model QUAL2Kw untuk mengkaji daya tampung beban pencemaran sungai. Tiga kelompok data utama yang dipergunakan sebagai masukan adalah data kondisi hidrologis, data hidrometeorologi, data kualitas air sungai, serta data SPT. Data SPNT tidak dimasukkan secara langsung dalam proses pemodelan, namun

menjadi bahan pertimbangan didalam penarikan dan analisis kesimpulan. Proses simulasi pemasukan data beban pencemaran dari SPNT merupakan komponen yang berperan dalam memberikan ruang untuk dilakukannya proses *trial and error*. Berdasarkan masukan dari empat kelompok data tersebut, simulasi dilakukan hingga diperoleh model sebaran kualitas air yang paling mendekati data lapangan. Pengujian kecocokan antara data lapangan dengan data model dilakukan menggunakan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ), dan indikator kesalahan model dengan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE). Model kualitas air yang paling mendekati data lapangan dipergunakan untuk menghitung beban pencemaran dan daya tampung beban pencemaran sungai. Tingkat keterpercayaan hasil pemodelan diuji dengan uji reliabilitas. Uji reliabilitas tidak mempengaruhi apakah model diterima ataupun ditolak, namun memberikan tingkat keyakinan dalam penggunaan model.

Penelitian ini menggunakan model numerik dengan perangkat lunak QUAL2Kw (Version 5.1). Perangkat lunak QUAL2Kw adalah model kualitas air yang termasuk ke dalam *stream* dan *river model*. Model tersebut merupakan pengembangan model QUAL2E (or Q2E) model (Brown and Barnwell 1987) yang dikembangkan pada awalnya oleh Dr. Steven C. Chapra of Tufts University (Chapra and Pelletier 2003). QUAL2Kw (Versi 5.1) merupakan model yang berbasis *stream*, yang tidak memodelkan bahan pencemar sebelum masuk ke badan air, sehingga bahan pencemar tidak dapat ditelusuri sumbernya. Selanjutnya untuk penelusuran sumber pencemarnya digunakan analisis spasial. Penelitian ini mengkombinasikan model QUAL2Kw (Versi 5.1) dengan model spasial.

Prosedur dan komponen data yang digunakan dalam model analisis DTBPA disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Prosedur dan komponen data QUAL2Kw

### Analisis Status Mutu Air

Kualitas air secara kualitatif dianalisis berdasarkan perhitungan status mutu air. Status mutu air ditentukan dengan menggunakan metode indeks pencemaran (*pollution index*) sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Perhitungan indeks pencemaran dilakukan dengan menggunakan Persamaan (10).

$$IP_j = \frac{\sqrt{\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_M^2 + \left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_R^2}}{2} \text{----- (10)}$$

Dimana :--

$IP_j$  = Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j)

$C_i$  = Konsentrasi parameter kualitas air hasil pengukuran

$L_{ij}$  = Konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (j)

$(C_i/L_{ij})_M$  = Nilai  $C_i/L_{ij}$  maksimum

$(C_i/L_{ij})_R$  = Nilai  $C_i/L_{ij}$  rata-rata

Hubungan indeks pencemaran dengan mutu perairan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hubungan nilai IP dengan status mutu air

Indeks Pencemaran	Mutu Perairan
$0 \leq P_{ij} \leq 1,0$	Kondisi baik
$1,0 < P_{ij} \leq 5,0$	Cemar ringan
$5,0 < P_{ij} \leq 10$	Cemar sedang
$P_{ij} > 10,0$	Cemar berat

Sumber : KLH, 2001

### Pemodelan DTBPA

#### Tahapan Model

Tahapan penggunaan model adalah sebagai berikut:

##### 1) Identifikasi Model

Tujuannya untuk mengidentifikasi konsep pemodelan sederhana yang merepresentasikan seluruh fenomena penting yang berpengaruh terhadap persebaran dan transformasi zat pencemar di sungai. Disamping itu, juga dilakukan seleksi model sesuai dengan karakteristik limbah dan kondisi geo-fisik-kimia sungai.

##### 2) Desain Model

Pada tahap desain model ini akan ditetapkan luasan dan batas wilayah yang akan dimodelkan serta durasi waktu pemodelan.

##### 3) Simulasi Model

Simulasi dengan menggunakan berbagai skenario manajemen yang relevan. Karakteristik fisik badan air yang dimodelkan selalu memiliki ketidakpastian (*uncertainty*), sifat dan perilaku pencemar juga banyak yang belum dikenali, sehingga eksekusi model (simulasi) dilakukan dengan menggunakan beberapa skenario. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan seberapa akurat hasil yang diinginkan, juga melihat keterbatasan dan kelebihan model.

#### 4) Kalibrasi Model.

Kalibrasi dilakukan dengan mencocokkan nilai variable agar supaya hasil pemodelan sesuai atau mendekati data yang dikumpulkan dilapangan. Kalibrasi model dilakukan melalui proses analisis sensitivitas untuk mendapatkan hasil pemodelan yang paling mendekati dengan data lapangan atau eksperimen.

#### 5) Validasi/verifikasi.

Pada tahap ini hasil simulasi dibandingkan dengan satu set data lapangan yang berbeda dengan data lapangan yang digunakan pada tahap kalibrasi. Pada validasi dapat diuji apakah parameter yang digunakan pada tahap kalibrasi sudah sesuai jika digunakan untuk di data set yang lain, sehingga siap untuk mensimulasikan skenario-skenario yang biasanya meramalkan kejadian di masa mendatang.

#### 6) Analisis Sensitivitas.

Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh relatif dari parameter atau variable yang digunakan dalam pemodelan terhadap konsentrasi zat pencemar, sehingga diperoleh informasi mengenai faktor apa saja yang dominan berpengaruh dalam kualitas air sungai.

#### 7) Analisis Hasil Pemodelan.

Analisis hasil pemodelan dilakukan dengan menggunakan referensi teori ilmiah, membandingkan dengan kondisi di lapangan dan juga dengan meminta *expert judgment*. Hasil pemodelan dapat ditayangkan dalam bentuk grafik, table, peta maupun paparan deskripsi. Hasil pemodelan menyajikan analisis permasalahan, potensi dan rekomendasi yang berbentuk kuantitatif dan kualitatif.

### **Teknik Simulasi**

Simulasi dilakukan dengan menggunakan dua skenario yang berbeda. Skenario satu adalah skenario dimana simulasi akan menghasilkan kualitas air yang merupakan respon atas masuknya beban pencemar eksisting. Sedangkan simulasi skenario dua adalah skenario yang menghasilkan gambaran kualitas air sebagai akibat beban pencemar yang masuk memenuhi daya tampung beban pencemar.

### **Pembagian Segmen**

Pemodelan kualitas air sungai memerlukan pembagian segmen DAS. Pembagian segmen sungai dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut :

#### 1) Batas administrasi;

- 2) Batas hidrologi;
- 3) Penggunaan Lahan dan kondisi daerah aliran sungai;
- 4) keberadaan anak sungai dan lokasi serta kondisi tata air;
- 5) lokasi pemantauan atau titik sampling kualitas air;
- 6) Keberadaan dan persebaran potensi Sumber pencemar

Pertimbangan di atas pada dasarnya dituangkan dalam penyusunan peta Wilayah Pengaliran Drainase. Berdasarkan Peta Wilayah Drainase maka di daerah penelitian dibagi menjadi lima segmen. Pembagian segmen ini selanjutnya menjadi dasar penyusunan skematik model QUAL2Kw.

### **Pengambilan Sampel Air**

Metode pengambilan sampel air adalah secara purposive sampling, dimana sampel air pada badan sungai minimal satu lokasi sampel pada tiap segmen sungai dengan periode pengambilan minimal dua kali periode pengambilan. Berdasarkan skematik permodelan segmentasi sungai pesanggrahan di wilayah penelitian terbagi menjadi lima segmen, maka jumlah sampel air di badan sungai utama minimal ada lima titik sampel Air. Sampel air yang perlu diambil adalah di bagian hulu sungai atau bagian yang dianggap sebagai hulu sungai (*Head Water*), Sumber Pencemar Tertentu dalam hal ini sungai caringin yang merupakan anak sungai pesanggrahan yang bermuara di segmen satu di anggap sebagai point source dari wilayah di atasnya dan di ambil sampel kualitas air serta debit aliran sungainya.

### **Input Data**

Dilakukan input data pada perangkat lunak QUAL2Kw untuk simulasi BOD, COD dan TSS masing-masing secara terpisah. Data yang dimasukkan adalah sebagai berikut :

- 1) pembagian penggalan sungai (segmen), jarak, serta batas atas dan batas bawah setiap penggal
- 2) letak geografis dan ketinggian SPT, *Withdrawal*, dan *Dam*
- 3) Klimatologis (temperatur udara, *dew point*, kecepatan angin, dan tutupan awan)
- 4) Hidrologis (*koefisien kekasaran Manning*, *side slope 1*, *side slope 2*, lebar dasar sungai, debit di *headwater* dan debit SPT).
- 5) Konsentrasi BOD, COD dan TSS pada tiap titik sampling.

### **Running Program**

Setelah tahap pengisian data diselesaikan, perangkat lunak QUAL2Kw dijalankan (*run*). Perangkat lunak QUAL2Kw selalu membuat *file output* dan *input* secara otomatis. Ada dua cara untuk melihat hasil *output* yaitu secara grafik dan tabuler. Output tabuler dapat dilihat pada *worksheet WQ Output*, sedangkan *output* grafik dapat dilihat pada *worksheet Spasial Chart*.

## Uji Model

Pengujian kesesuaian model perhitungan daya tampung beban pencemaran dilakukan dengan membandingkan antara nilai konsentrasi hasil analisa laboratorium ( $K$ ) dengan konsentrasi model ( $K_m$ ). Data yang digunakan untuk pengujian kesesuaian model adalah pasangan data konsentrasi parameter BOD, COD dan TSS dari hasil analisa laboratorium dengan nilai konsentrasi parameter BOD, COD dan TSS dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak QUAL2Kw. Pengujian kesesuaian model menggunakan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang dirumuskan dengan persamaan (11).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(K_i - K_{mi})^2}{\sum(K_i - K_{mr})^2} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana  $K_i$  adalah konsentrasi hasil analisa laboratorium ke- $i$ ,  $K_{mi}$  adalah konsentrasi hasil model ke- $i$ , dan  $K_{mr}$  adalah Konsentrasi rata-rata model (Modifikasi Indarto, 2010). Dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dapat diperoleh nilai koefisien korelasi ( $r$ ) yang merupakan akar dari koefisien determinasi ( $R^2$ ). Selain itu, pengujian kesesuaian model dilakukan dengan menghitung indikator kesalahan yaitu Root Mean Square Error (RMSE) (IOH-DPMA 1983 dalam Soewarno 1996) dengan persamaan (12).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{K - K_{mi}}{K_{mi}} \right]^2} \dots\dots\dots(12)$$

## Simulasi Model

Menurut Abdi (2011) setelah model dinyatakan diterima atau sesuai dengan keadaan yang sebenarnya, dilakukan simulasi untuk melihat kadar parameter pencemar di sepanjang sungai. Kadar parameter bahan pencemar diamati pada setiap segmen dan digunakan sebagai dasar untuk menghitung beban pencemaran sungai. Selanjutnya dilakukan simulasi jika kondisi kadar parameter pencemar di sepanjang sungai memenuhi baku mutu untuk mengukur daya tampung beban pencemaran sungai.

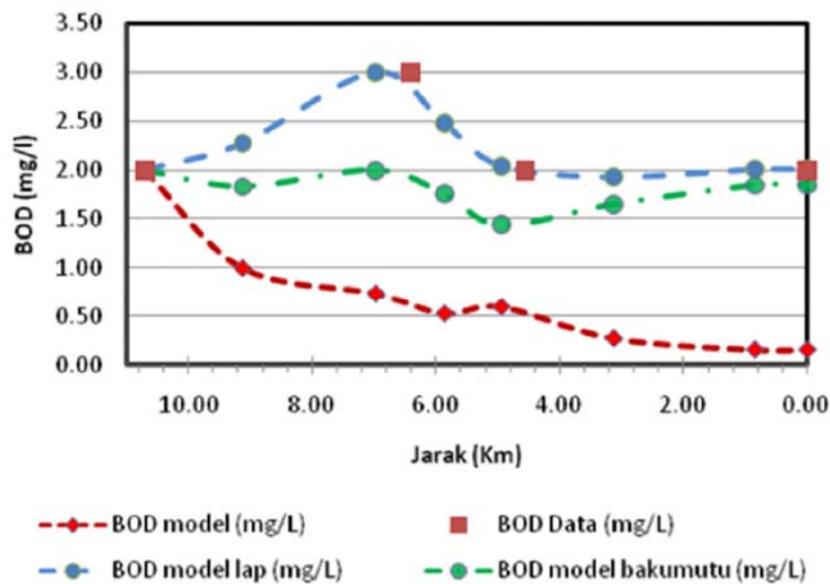
Hasil simulasi dengan QUAL2Kw disajikan dalam bentuk diagram hubungan antara parameter (*constituent*) dengan jarak lokasi pada sungai. Contoh hasil simulasi disajikan pada Gambar 6.

Besarnya beban pencemaran sungai diperoleh dengan cara melakukan penambahan ataupun pengurangan beban pencemar secara *trial and error* pada *range* lokasi-lokasi tertentu hingga garis merah putus-putus mencapai titik merah dan membentuk garis biru putus-putus (*BOD model lap*). Perkalian antara konsentrasi parameter pencemar dengan debit pada setiap sumber pencemar titik dan sumber pencemar non titik merupakan beban pencemar yang ingin dicari.

Garis merah putus-putus merupakan model kualitas sungai jika kualitas air pada *headwater* diketahui (mg/l) dan semua sumber pencemar yang diobservasi dimasukkan datanya dalam proses perhitungan. Kenyataannya, tidak semua sumber pencemar, terutama SPNT, bisa didapatkan datanya.

Titik merah tua pada diagram merupakan hasil observasi lapangan. Terlihat bahwa ada kesenjangan antara kualitas air yang seharusnya menurut model QUAL2Kw (*BOD model*) dengan sebaran data observasi (*BOD data*). Ini berarti terdapat sumber pencemar lain yang menyebabkan kesenjangan itu terjadi dan *range* lokasi sumber pencemar penyebab terjadinya kesenjangan dapat diperkirakan letaknya.

Garis merah putus-putus merupakan model kualitas sungai jika kualitas air pada *headwater* diketahui (mg/L) dan semua sumber pencemar yang diobservasi dimasukkan datanya dalam proses perhitungan. Kenyataannya, tidak semua sumber pencemar, terutama SPNT, bisa didapatkan datanya.



Gambar 6 Contoh Ploting Data Pemantauan dan Pemodelan  
(Sumber : Abdi 2011)

## 4 GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN

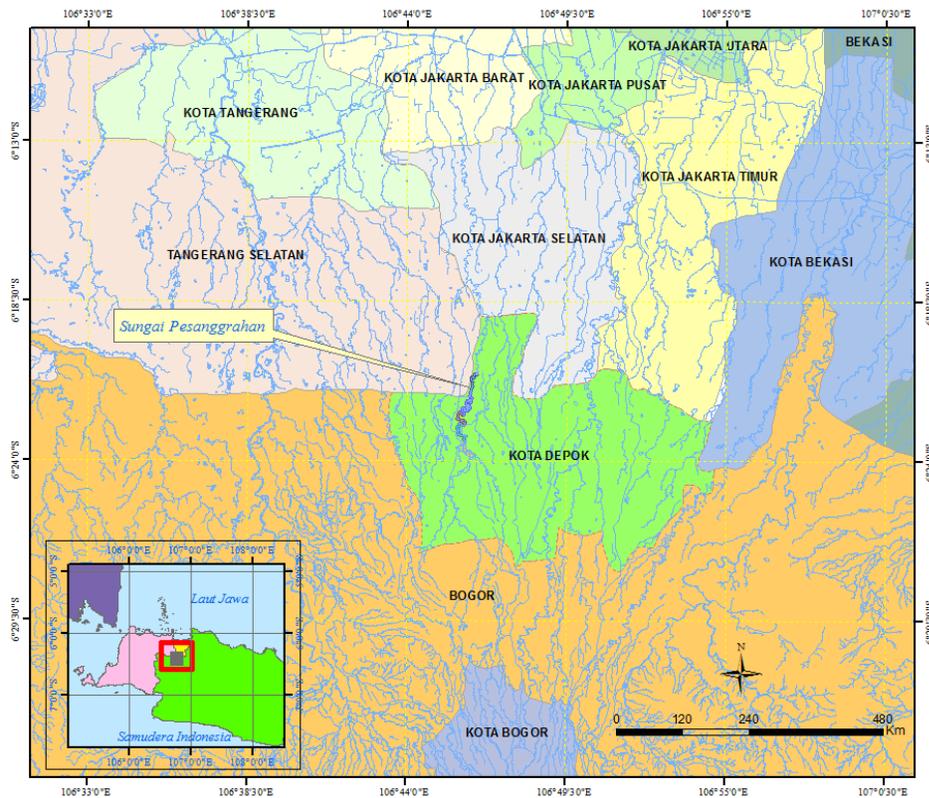
### Wilayah Penelitian

#### Batas Administrasi

Secara geografis Kota Depok terletak pada koordinat  $6^{\circ}19'00''$  –  $6^{\circ}28'00''$  Lintang Selatan dan  $106^{\circ}43'00''$  Lintang Selatan dan  $106^{\circ}43'00''$ - $106^{\circ}55'30''$  Bujur Timur. Wilayah Kota Depok berbatasan dengan tiga kabupaten dan dua provinsi. Secara lengkap wilayah ini mempunyai batas-batas sebagai berikut :

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kota Tangerang Selatan Provinsi Banten dan wilayah Kota Jakarta Selatan Provinsi DKI Jakarta.
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kota Bekasi dan Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat.
- Sebelah Barat berbatasan dengan Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat dan Kota Tangerang Selatan Provinsi Banten.

Lokasi Kota Depok dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Peta Batas Administrasi Kota Depok

Letak Kota Depok diapit oleh Kota Jakarta dan Kota Bogor, yang mengakibatkan Kota Depok semakin tumbuh dengan pesat seiring dengan meningkatnya perkembangan jaringan transportasi yang tersinkronisasi secara regional dengan kota-kota lainnya. Kota Depok dialiri oleh sungai-sungai besar yaitu Sungai Ciliwung dan Cisadane serta 13 sub Satuan Wilayah Aliran Sungai dan 25 situ. Data luas situ pada tahun 2005 sebesar 169,68 Ha, dengan kualitas air rata-rata buruk akibat tercemar (SLHD Kota Depok 2013).

Kondisi topografi berupa dataran rendah bergelombang dengan kemiringan lereng yang landai menyebabkan masalah banjir di beberapa wilayah, terutama kawasan cekungan antara beberapa sungai yang mengalir dari selatan menuju utara: Kali Angke, Sungai Ciliwung, Sungai Pesanggrahan dan Kali Cikeas.

### **Batas Daerah Aliran Sungai**

Wilayah penelitian terletak di Daerah Aliran Sungai Pesanggrahan, segmen Kota Depok. Segmentasi yang ditetapkan sebagai wilayah penelitian di Sungai secara Administrasi mencakup sebagai berikut :

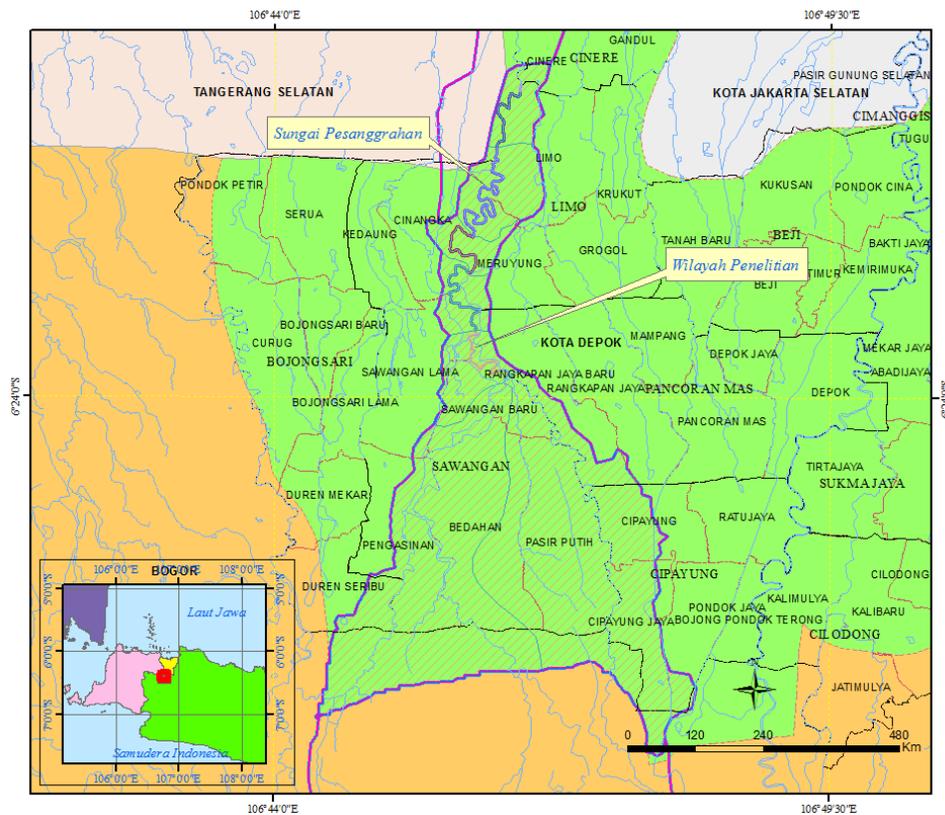
Wilayah administrasi yang bersinggungan secara langsung dengan segmentasi sungai di wilayah penelitian mencakup wilayah sebagai berikut :

- Kecamatan Sawangan
- Kecamatan Limo
- Kecamatan Cinere / Kecamatan Pamulang

Wilayah administrasi yang tidak bersinggungan langsung dengan sungai namun masuk dalam wilayah Daerah Aliran Sungai Pesanggrahan, mencakup wilayah sebagai berikut :

- Kota Depok : Kecamatan Bojongsari, Kecamatan Cipayung dan Kecamatan Pancoran Mas
- Kabupaten Bogor : Kecamatan Bojonggede, Kecamatan Tajurhalang
- Kota Tangerang Selatan : Kecamatan Pamulang.

Wilayah-wilayah administrasi tersebut tidak bersinggungan langsung dengan segmen sungai tetapi merupakan wilayah-wilayah yang ikut menyumbang beban pencemaran yang masuk ke sungai Pesanggrahan. Secara keseluruhan wilayah penelitian adalah irisan dari batas administrasi dengan Daerah Aliran Sungai seperti pada Gambar 8.

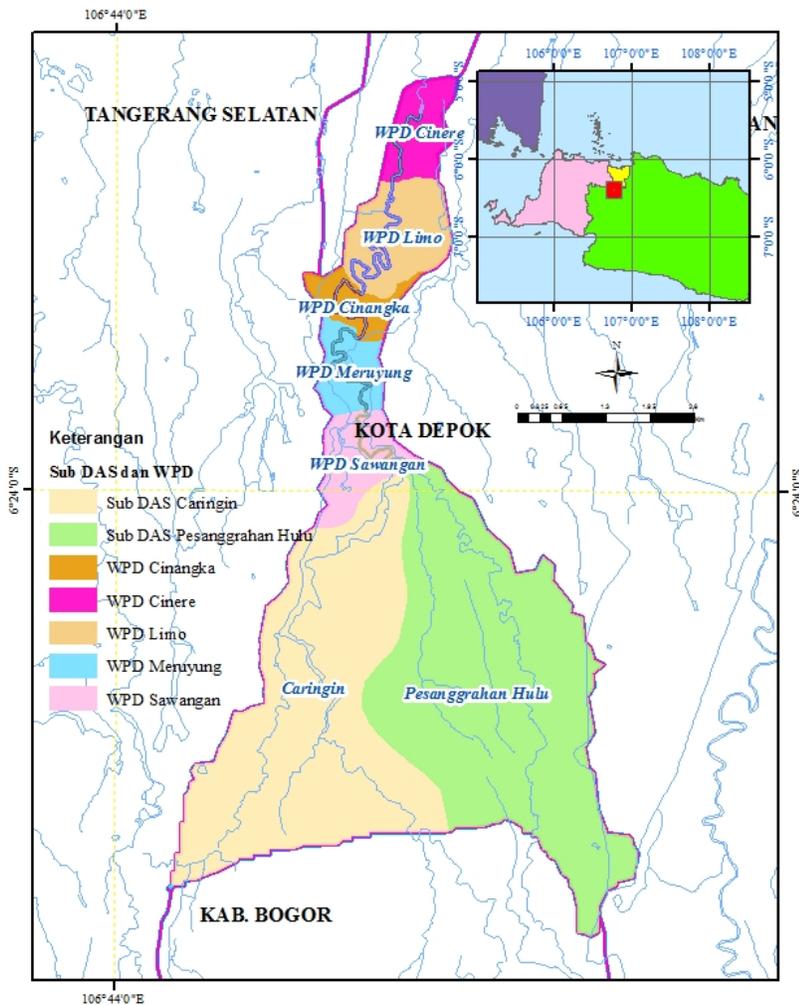


Gambar 8 Peta Lokasi Wilayah Penelitian

Berdasarkan analisis spasial terhadap data SRTM dan pengamatan di lapangan wilayah penelitian terdiri dari beberapa Sub DAS yaitu Sub DAS Pesanggrahan Hulu, Sub DAS Pesanggrahan Hilir dan Sub DAS Caringin (Anak sungai Pesanggrahan dibagian hulu). Selanjutnya Sub DAS Pesanggrahan Hilir yang melintas Kota Depok ini merupakan wilayah penelitian yang dibagi menjadi lima segmen berdasarkan Wilayah Pengaliran Drainasenya.

### Wilayah Pengaliran Drainase

Wilayah penelitian terbagi dalam dua bagian yaitu bagian hulu dan bagian hilir. Bagian hulu mencakup Sub DAS Pesanggrahan Hulu dan Sub DAS Caringin. Bagian hilir mencakup lima wilayah pengaliran drainase (WPD). WPD adalah wilayah yang mengalirkan semua limbah cair dari dalam wilayah drainase tersebut yang terbuang menuju ke segmen sungai di bawahnya. Selanjutnya untuk memudahkan identifikasi wilayah, maka diberikan nama generik WPD sesuai dengan wilayah kelurahan yang luasannya dominan masuk di dalamnya. WPD dari arah hulu (Head Water) ke Hilir yaitu WPD Sawangan, WPD Meruyung, WPD Cinangka, WPD Limo dan WPD Cinere. Lokasi Sub DAS dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Peta Wilayah Pengaliran Drainase

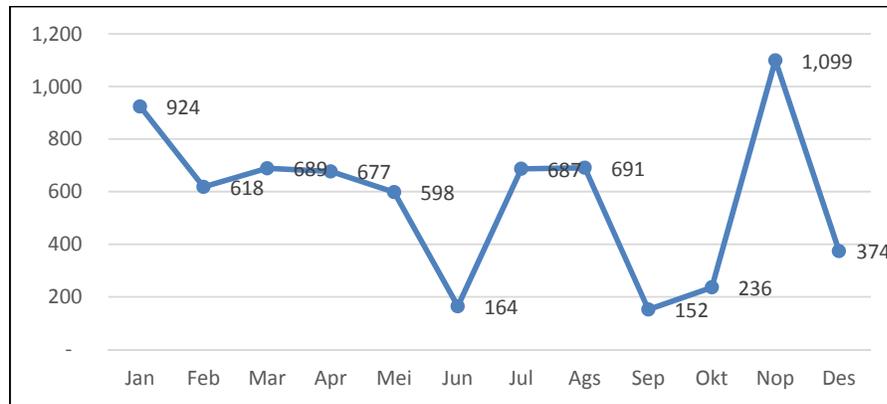
### Parameter Iklim

Parameter iklim yang dibahas meliputi curah hujan, temperatur udara, penyinaran matahari, arah dan kecepatan angin. Data unsur-unsur iklim yang disajikan diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika terdekat yaitu Stasiun Klimatologi Darmaga Bogor untuk periode tahun 2014.

#### 4.3.1. Curah Hujan

Curah hujan bulanan tertinggi jatuh pada bulan November 2015 sebesar 1,099 mm, sedang curah hujan bulanan terkecil jatuh pada bulan Agustus dengan rata-rata sebesar 152 mm. Berdasarkan data curah hujan tersebut dapat dikatakan bahwa terjadi perbedaan curah hujan rata-rata bulanan yang mencolok antara musim kemarau dengan penghujan. Menurut penggolongan tipe curah hujan menurut Schmidt dan Ferguson, daerah penelitian termasuk iklim tipe A (basah) karena curah hujan rata-rata bulannya lebih besar dari 100 mm. Data curah hujan memberikan gambaran fluktuasi limpasan dan debit aliran di

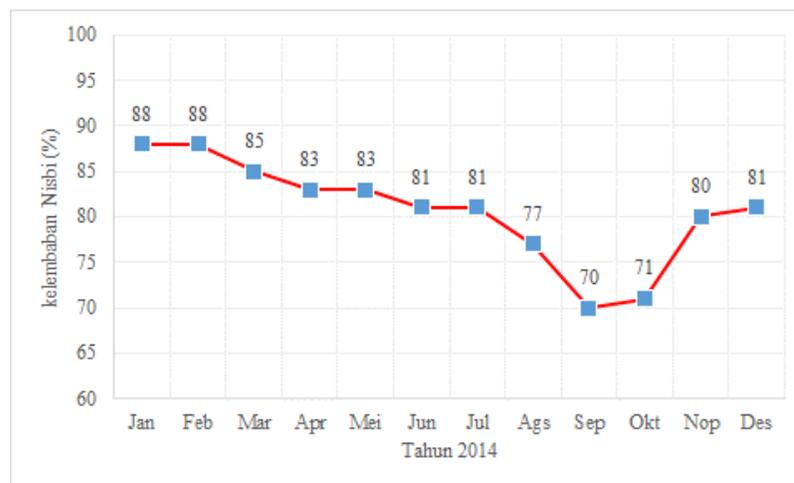
wilayah penelitian. Data curah hujan di wilayah studi bersumber dari Badan Meteorologi dan Geofisika Stasiun Dermaga Bogor, sebagaimana disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10 Curah Hujan Tahun 2014

### Kelembaban Nisbi

Kelembaban Nisbi terbesar pada bulan Januari dan Februari (88 %) dan terkecil pada bulan September (70%). Data kelembaban Nisbi dan data suhu dipergunakan untuk mendapatkan data titik embun (*dew point*). Data kelembaban nisbi yang digunakan adalah data bulan November 2015 dimana kelembaban nisbi terhitung sebesar 80 %. Fluktuasi kelembaban nisbi pada tahun 2014 dapat dilihat pada Gambar 11.

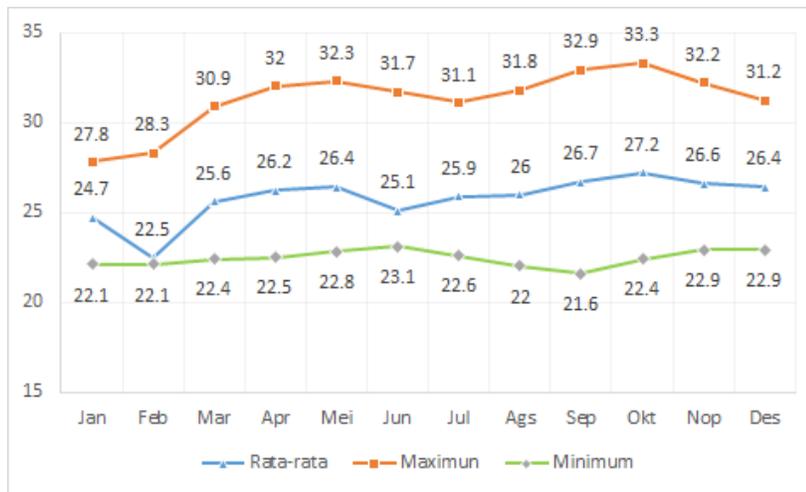


Gambar 11 Grafik Kelembaban Nisbi

### Suhu Udara

Berdasarkan data dari BMKG (2014), suhu udara rata-rata tertinggi jatuh pada bulan Oktober (27.9 °C) dan terendah pada bulan Februari (22.5 °C). Berdasarkan data curah hujan dan temperatur udara bulanan dapat ditentukan

tipe iklim setempat sesuai dengan klasifikasi tipe iklim menurut Koppen, termasuk tipe iklim Af yaitu tipe iklim hujan tropis. Data suhu udara yang digunakan untuk input model QUAL2Kw adalah data suhu udara rata-rata bulan November 2015 dimana suhu udara terhitung sebesar 26.6 °C. Profil data suhu udara tahun 2014 disajikan pada Gambar 12. Selanjutnya data suhu udara tersebut selain untuk input model, juga digunakan untuk perhitungan titik embun (dew point) dengan pasangan data kelembaban. Dari pasangan data suhu sebesar 26.6 °C dan Kelembaban Nisbi 80 % maka diperoleh hasil perhitungan dengan *dew point calculator* (<http://www.dpcalc.org/>) diperoleh nilai titik embun sebesar 18 °C.



Gambar 12 Suhu Udara Tahun 2014

## Angin

Data arah dan kecepatan angin maksimum bulanan diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika terdekat yaitu Stasiun Dermaga Bogor pada ketinggian 179 m di atas permukaan laut untuk daerah cakupan Dermaga dan sekitarnya. Berdasarkan data tersebut diperoleh gambaran bahwa arah angin maksimum dominan dari Tenggara, kemudian dari arah barat daya, dengan kecepatan angin maksimum dominan 5.144 m/dt. Kecepatan angin terbesar 6.173 m/dt terjadi pada bulan Oktober dengan arah Tenggara. Data kecepatan angin yang digunakan adalah data bulan November 2015 dimana kecepatan angin rata-rata terhitung sebesar 2.057 m/dt. Data kecepatan dan arah angin disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Kecepatan dan Arah Angin

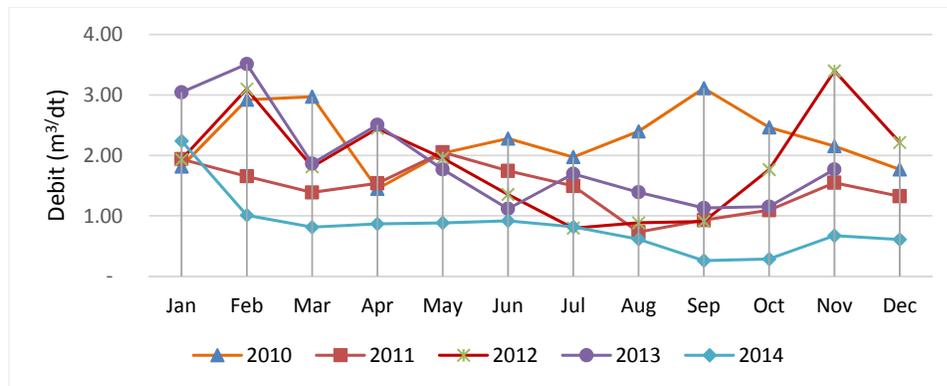
No	Bulan	Angin			
		Kecepatan Rata-Rata (m/dt)	Arah Terbanyak	Kecepatan Terbesar (m/dt)	Arah
1	Jan	2.572	W - N	5.144	W - N
2	Feb	2.572	W - N	5.144	N
3	Mar	2.057	SW - N	5.658	N

4	Apr	2.057	SW - NW	5.144	NW - N
5	Mei	2.057	S - SW	5.144	NW - N
6	Jun	1.543	VRB	4.63	N - E
7	Jul	2.057	N - E	4.63	N - E
8	Ags	2.057	VRB	5.658	N - E
9	Sep	2.057	VRB	5.658	N - E
10	Okt	2.057	VRB	6.173	N - E
11	Nop	2.057	VRB	5.144	NW - N
12	Des	2.057	SW - NW	5.658	SW - NW

Sumber : BMKG 2014

### Debit Aliran

Berdasarkan data dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) tahun 2014, debit aliran Sungai Pesanggrahan rata-rata bulanan dari Tahun 2010 hingga Tahun 2014 menunjukkan fluktuasi debit tertinggi di bulan Februari Tahun 2013 sebesar 3.51 m<sup>3</sup>/dt dan debit terendah di bulan September Tahun 2014 adalah 0.26 m<sup>3</sup>/dt. Selanjutnya dari hasil pengukuran insitu diperoleh data debit di *Head Water* sebesar 2.2 m<sup>3</sup>/dt. Grafik debit aliran Sungai Pesanggrahan rata-rata bulanan lima tahun terakhir disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13 Grafik Debit Aliran Rata-rata Bulanan Sungai Pesanggrahan

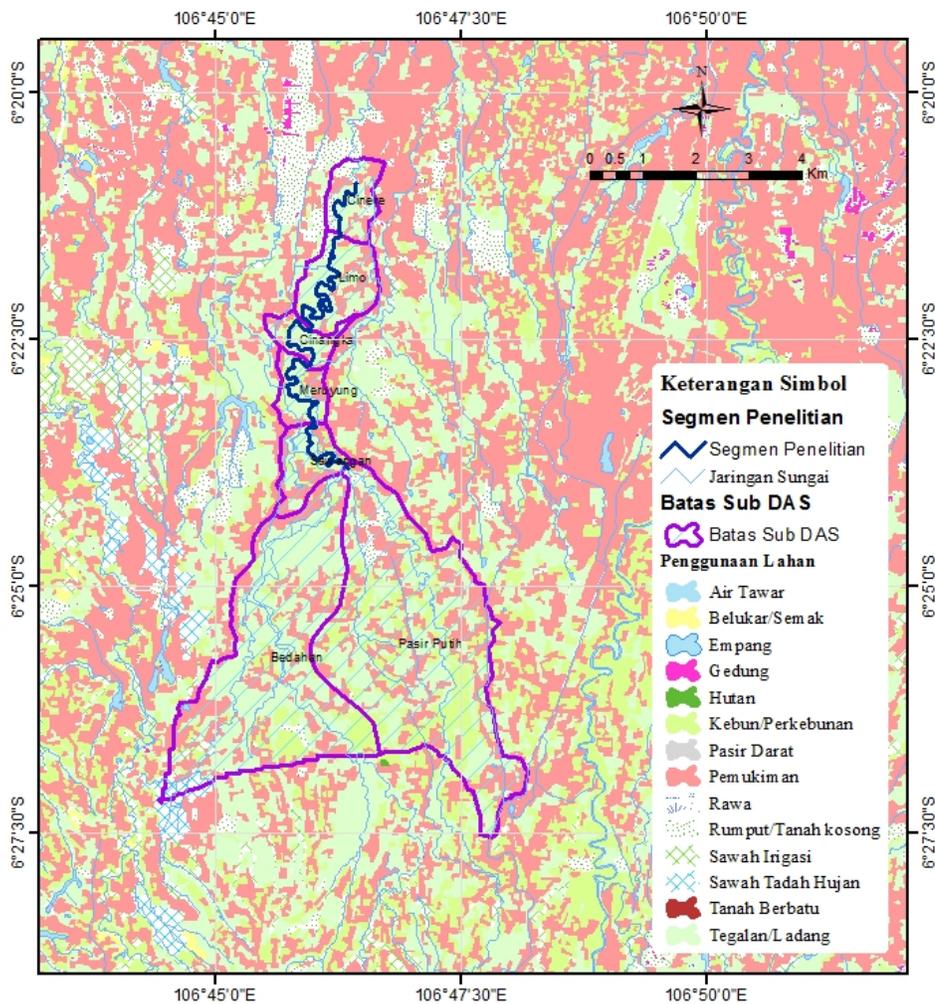
### Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan di Kota Depok sangat didominasi oleh peningkatan luasan lahan terbangun. Ciri ini menunjukkan bahwa Kota Depok telah mengalami proses urbanisasi yang cukup pesat. Secara spasial pola perkembangan lahan terbangun di Kota Depok menunjukkan fenomena *urban sprawl* yaitu perkembangan lahan terbangun di Kota Depok meluas secara tidak terkendali, sehingga hampir di semua wilayah terjadi proses urbanisasi (Zain *et al.* 2013).

Pertanian Kota Depok mengalami penurunan dari tahun ke tahun akibat terjadi alih fungsi lahan, dari lahan pertanian ke penggunaan lainnya. Selain itu,

pemerintah kota mempertimbangkan akan membeli lahan pertanian milik pribadi tersebut untuk menjadi Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik (SLHD Kota Depok 2014). Variasi jenis penggunaan lahan memberikan indikasi variasi sumber pencemaran dan koefisien *run off*.

Distribusi luas penggunaan lahan di Kota Depok dalam penelitian ini didekati dengan data penggunaan lahan berdasarkan Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 25.000 yang diperbaharui dengan Peta Megapolitan skala 1 : 10.000 serta interpretasi citra satelit pada google map sehingga diperoleh distribusi penggunaan lahan yang disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 14. Selain itu data luas penggunaan lahan di setiap Sub DAS atau WPD akan digunakan untuk memperkirakan (*initial condition*) limpasan yang membawa media pencemar ke sungai. Data luasan penggunaan lahan di setiap wilayah disajikan pada Lampiran 1.



Gambar 14 Peta Penggunaan Lahan

Tabel 5 Luas Penggunaan Lahan

No	Wilayah Kabupaten / Kota / Kecamatan	Luas Penggunaan Lahan Menurut Wilayah Administrasi (Ha)									
		Permukiman	Air Tawar	Kebun / Perkebunan	Tanah Kosong	Rumput / Sawah Irigasi	Sawah Tadah Hujan	Tegalan / Ladang			
<b>A. KABUPATEN BOGOR</b>											
1	BOJONGGEDE	56.27	-	113.30	0.90	1.30	-	-	-	-	82.30
2	TAJURHALANG	95.25	-	64.70	11.40	15.90	21.60	-	-	-	102.30
	Sub Total (A)	-	-	178.00	12.30	17.20	21.60	-	-	-	184.60
<b>B. KOTA DEPOK</b>											
1	BOJONGSARI	30.99	1.20	0.70	-	-	-	-	-	-	40.80
2	CINERE	13.73	-	-	0.20	-	-	-	-	-	8.60
3	CIPAYUNG	143.14	0.40	103.60	2.00	-	-	-	-	-	113.70
4	LIMO	95.34	-	16.40	3.60	-	-	-	-	-	187.90
5	PANCORAN MAS	53.90	-	28.60	0.30	-	-	-	-	-	72.00
6	SAWANGAN	526.62	1.20	231.50	39.20	-	-	-	-	-	933.40
	Sub Total (B)	2.80	380.80	45.20	-	-	-	-	-	-	1,356.30
<b>C. KOTA TANGERANG SELATAN</b>											
<b>1 PAMULANG</b>											
	Sub Total (C)	27.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Grand Total	30.40	558.80	57.60	17.20	21.60	1,540.90	-	-	-	3,214.10

## Pertanian

Berdasarkan peta penggunaan lahan maka untuk perhitungan potensi beban pencemar dari kegiatan pertanian terdiri dari perkebunan, sawah dan tegalan. Berdasarkan wilayah administrasi yang masuk ke wilayah penelitian (DAS Pesanggrahan Segmen Kota Depok), diperoleh luasan lahan pertanian di Kota Depok 1,737.2 Ha yang terdiri dari 380.8 Ha (kebun), 1,356.4 Ha (tegalan). Data luas lahan pertanian di wilayah penelitian disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Luas Lahan Pertanian

Wilayah Administrasi	Luas Lahan (Ha)			Total
	Kebun	Sawah	Tegalan	
Kabupaten Bogor	178.0	38.8	184.6	401.4
Kec. Bojonggede	113.3	1.3	82.3	196.9
Kec. Tajurhalang	64.7	37.5	102.3	204.5
Kota Depok	380.8	-	1,356.4	1,737.2
Kec. Sawangan	231.5	-	933.4	1,164.9
Kec. Limo	16.4	-	187.9	204.3
Kec. Cinere	-	-	8.6	8.6
Kec. Bojongsari	0.7	-	40.8	41.5
Kec. Pancoran Mas	28.6	-	72.0	100.6
Kec. Cipayung	103.6	-	113.7	217.3
Kota Tangerang Selatan	-	-	8.7	8.7
Kec. Pamulang	-	-	8.7	8.7

Sumber : Analisis data Peta Rupa Bumi , Skala 1 : 25,000 (layer penggunaan lahan)

## Penduduk

Berdasarkan data Kecamatan Dalam Angka Tahun 2014, jumlah penduduk di wilayah penelitian terbesar berada di Kecamatan Pancoran dimana penduduknya berjumlah 219,601 Jiwa dengan luas wilayah 329 ha, sedangkan jumlah penduduk terkecil berada di Kecamatan Pamulang 23,469 dengan luas wilayah 162 Ha. Berdasarkan klasifikasi kepadatan penduduk yang ditetapkan oleh BSN (2010), maka tingkat kepadatan penduduk per Kecamatan dapat diklasifikasikan mulai dari rendah hingga sangat padat. Wilayah dengan tingkat kepadatan sangat tinggi adalah Kecamatan Pancoran, tingkatan kepadatan tinggi untuk Kecamatan Limo, Cinere, Cipayung dan Bojonggede. Untuk tingkat kepadatan sedang adalah kecamatan Sawangan dan tingkat kepadatan rendah mencakup Kecamatan Bojongsari, Tajur Halang dan Kecamatan Pamulang. Data Kependudukan dapat dilihat pada Tabel 7 dan klasifikasi kepadatan pada Tabel 8.

Tabel 7 Jumlah dan Kepadatan Penduduk

Wilayah Administrasi	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Luas Wilayah (Ha)	Kepadatan (Jiwa/Ha)
Kota Depok	644,303	2,075	
Kec. Sawangan	139,473	762	183
Kec. Limo	72,295	264	274
Kec. Cinere	121,328	308	394
Kec. Bojongsari	11,038	127	87
Kec. Pancoran Mas	219,601	329	668
Kec. Cipayung	80,568	285	282
Kabupaten Bogor	141,741	912	
Kec. Bojonggede	80,923	356	227
Kec. Tajurhalang	60,818	556	109
Kota Tangerang Selatan	23,469	162	
Kec. Pamulang	23,469	162	145

Sumber : Analisis data BPS 2014

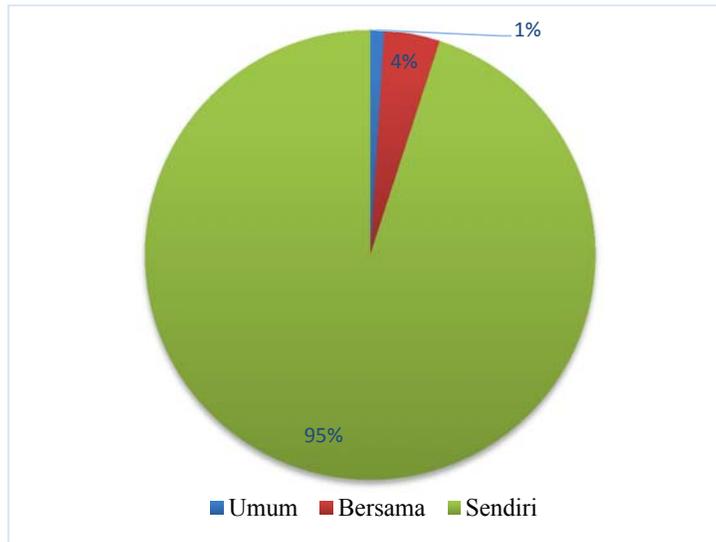
Tabel 8 Klasifikasi Kepadatan Penduduk

Klasifikasi	Kepadatan (jiwa /ha)
Rendah	< 150
Sedang	151 - 200
Tinggi	201 - 400
Sangat Padat	> 400

Sumber : BSN 2010

Kepadatan penduduk menyebabkan pertumbuhan permukiman yang tidak teratur. Permukiman berkembang tidak mengikuti pola jaringan jalan yang ada. Hal ini menyebabkan terbentuknya jalan baru di lingkungan permukiman yang cenderung spontan dan mengalami perkerasan. Pola perkembangan permukiman ini pada akhirnya membentuk batasan air (*water divide*) yang terjadi dikarenakan bentuk DAS alami di potong oleh bangunan sarana prasarana buatan seperti jalan dan saluran drainase.

Sistem sanitasi atau pembuangan limbah domestik rumah tangga terdiri dari buangan yang berasal dari dapur, cuci, kamar mandi dan WC. Air buangan dari dapur dan kamar mandi, umumnya disalurkan melalui selokan rumah untuk selanjutnya dibuang menuju saluran pengatusan. Untuk buangan dari WC dibuang ke septic tank yang kemudian diresapkan kedalam tanah melalui sumur resapan. Berdasarkan buku data Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Kota Depok tahun 2014 fasilitas tempat buang air besar di Kota Depok telah bebas buang air besar sembarangan, sebab penggunaan jamban pribadi mencapai 95%, 4 % penggunaan jamban bersama dan 1% menggunakan MCK Umum. Jumlah rumah tangga dan fasilitas tempat buang air besar dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Jumlah Rumah Tangga dan Fasilitas Tempat Buang Air Besar

### Peternakan

Selain sektor pertanian, sektor peternakan juga memberikan potensi terhadap pencemaran lingkungan, yaitu berupa potensi gas metan (CH<sub>4</sub>). Jumlah ternak di Kota Depok, berdasarkan BPS (2014), terlihat jumlah hewan ternak terbanyak adalah Ayam Ras pedaging (1,002,720 ekor), Ayam lokal (12,773 ekor), itik (4,355 ekor), Kambing (4,576 ekor), Sapi potong (554 ekor) serta hewan lainnya. Sebaran jumlah ternak lainnya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Jumlah Ternak per Wilayah Kecamatan

No.	Wilayah Administrasi	Jumlah Ternak (Ekor)									
		Sapi Potong	Sapi Perah	Kerbau	Kambing	Domba	Ayam Lokal	Ayam Petelur	Ayam Ras Pedaging	Itik	Itik Manila
A.	Kota Depok	375	17	35	1839	251	8949	49	887220	3445	339
1	Kec. Sawangan	340	17	27	1626	251	6761	49	887211	3445	339
	Kec. Limo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kec. Cinere	35	-	8	213	-	2188	-	9	-	-
	Kec. Bojongsari	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kec. Pancoran	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kec. Cipayung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B.	Kabupaten Bogor	184	1	38	2737	2309	3824	-	115500	910	-
1	Kec. Bojonggede	-	-	-	983	1001	1655	-	-	677	-
2	Kec. Tajurhalang	184	1	38	1754	1308	2169	-	115500	233	-
C.	Kota Tangerang Selatan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Kec. Pamulang	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber : Analisis BPS 2014

## 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Tata Air Sungai Pesanggrahan

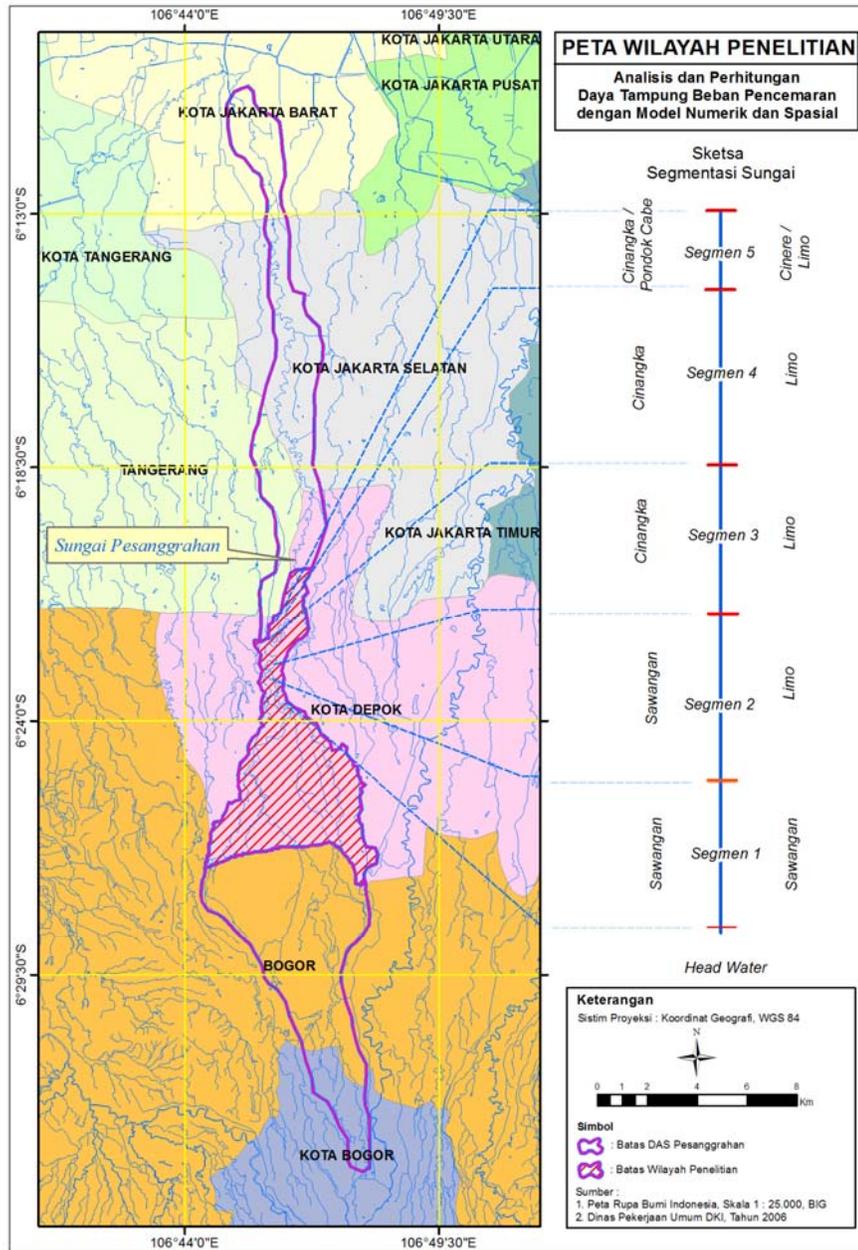
DAS Pesanggrahan yang terdapat di Kota Depok, Provinsi Jawa Barat memiliki peran sangat penting sebagai penopang daya dukung lingkungan sekitarnya, terutama Kota Depok, Tangerang Selatan, Jakarta Selatan sampai dengan Kabupaten Tangerang. Sungai Pesanggrahan mempunyai panjang  $\pm 73.68$  km (Dinas PU, 2006), dalam kajian ini segmentasi yang dianalisis mencakup panjang  $\pm 12.4$  Km, yang dari hulu ke arah hilir mencakup wilayah administrasi kabupaten Bogor, Kota Depok dan sebagian kecil Kota Tangerang Selatan. Perhitungan debit anak-anak sungai dan saluran untuk keperluan penentuan DTBPA menggunakan data hasil pengukuran sesaat pada tanggal 2 November 2014 yaitu sebesar  $2.2 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

### Segmentasi Sungai Pesanggrahan

Satuan unit perhitungan dan analisis daya tampung beban pencemaran sungai adalah segmen. Pembagian segmen menggambarkan batas tiap-tiap segmen serta lokasi di mana sumber pencemar tertentu maupun sumber pencemar tertentu masuk ke sungai utama. Dalam penelitian ini wilayah sungai Pesanggrahan dibagi menjadi lima Segmen dan satu titik sebagai *Head Water*. Dasar pertimbangan pembagian segmentasi antara lain yaitu batas DAS, karakteristik morfologi sungai, dan batas Administrasi, sehingga dalam penelitian ini ditetapkan lima Segmen di sungai Pesanggrahan wilayah Kota Depok. Segmentasi sungai dapat dilihat Tabel 10 dan Gambar 16. Pada setiap segmen diambil satu sampel air. Sampel air yang diambil ada tujuh yaitu satu sampel di lokasi *Head Water*, satu sampel di anak sungai Caringin (SPT) dan lima sampel di sungai utama. Distribusi dan lokasi pengambilan sampel disajikan pada Lampiran 2.

Tabel 10 Segmentasi Sungai Pesanggrahan dan Lokasi Sampling Air

Segmen	Jarak Dari Hilir (km)	Titik Sampling Air	Sub DAS / WPD	Luas (Ha)	Wilayah Administrasi
<i>Head Water</i>	12.4	ST-1	Sub DAS Pesanggrahan Hulu	1,202.2	Kota Depok, Bogor
Segmen 1	12.3	ST-2	Sub DAS Caringin	1,367.7	Kota Depok, Bogor
Segmen 1	10.33	ST-3	WPD Sawangan	149.2	Kota Depok
Segmen 2	7.81	ST-4	WPD Meruyung	109.7	Kota Depok
Segmen 3	6.04	ST-5	WPD Cinangka	85.6	Kota Depok
Segmen 4	1.7	ST-6	WPD Limo	215.1	Kota Depok
Segmen 5	0.5	ST-7	WPD Cinere	131.1	Kota Depok, Tangerang Selatan
Total	12.4			3,260.6	



Gambar 16 Peta Segmentasi

Koordinat batas segmen dinyatakan dalam sistem koordinat geografis di mana lokasi yang berada pada lintang selatan dan bujur timur diberi nilai negatif, sedangkan koordinat yang berada di lintang utara dan bujur barat diberi nilai positif. Lokasi penelitian berada pada lintang selatan dan bujur timur, maka koordinatnya negatif. Data koordinat batas segmen disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Koordinat Batas Segmen

Nama Segmen Sungai	<i>Downstream</i> (Batas Akhir Segmen)	<i>Downstream</i>					
		Koordinat Lintang			Koordinat Bujur		
		Derajat	Menit	Detik	Derajat	Menit	Detik
	<i>Head Water</i>	-6.00	23	46	-106.00	46	19
<i>Head Water</i>	Sawangan	-6.00	23	20	-106.00	45	59
Sawangan	Meruyung	-6.00	22	47	-106.00	45	55
Meruyung	Cinangka	-6.00	22	25	-106.00	45	58
Cinangka	Limo	-6.00	21	32	-106.00	46	12
Limo	Cinere	-6.00	20	59	-106.00	46	25

Ketinggian lokasi batas atas (*upstream*) dan batas bawah (*down stream*) diukur dengan Peta Kontur skala 1 : 25,000 yang dikombinasikan dengan data SRTM. Titik *Head Water* yang berada di jembatan Parung Bingung mempunyai ketinggian 76.5 m dari permukaan air laut (mdpl) sedangkan batas bawah bagian hilir (titik nol) berada pada ketinggian 43.0 mdpl. Beda tinggi antara *Head Water* dengan batas bawah dibagian hilir adalah 33.5 m. Ketinggian batas bawah dan batas atas setiap segmen disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Ketinggian Batas Atas dan Batas Bawah di Tiap Segmen

Nama Segmen Sungai	<i>Downstream</i> (Batas Akhir Segmen)	<i>Ketinggian</i>	
		<i>Upstream</i>	<i>Downstream</i>
		(m)	(m)
-	<i>Head Water</i>	-	76.50
<i>Head Water</i>	Sawangan	76.50	75.00
Sawangan	Meruyung	75.00	69.00
Meruyung	Cinangka	69.00	64.00
Cinangka	Limo	64.00	53.00
Limo	Cinere	63.00	43.00

Kemiringan dasar saluran bervariasi dari 0.001 hingga 0.05 m/m. Kemiringan dasar saluran ini diukur dengan cara membandingkan panjang penggal segmen dengan beda tinggi antara batas atas dan batas bawah tiap segmen yang dinyatakan dalam satuan meter per meter (m/m). Selain koefisien kekasaran *manning* (n) ditentukan dengan mendeskripsikan material dasar sungai dan membandingkan dengan matriks koefisien *manning*. Berdasarkan matriks koefisien *manning* kondisi dasar saluran sungai pesanggrahan mempunyai nilai 0.050, hal ini dikarenakan masih alami dengan material dasar tanah berpasir bercampur kerikil batuan. Lebar dasar sungai diasumsikan sama dengan lebar permukaan sungai (penampang basah). Asumsi ini diambil karena keterbatasan pengukuran yang dikarenakan kondisi umum pada sungai alami, dasar sungai dari satu sisi ke sisi yang lain berbentuk tidak teratur. Kondisi lebar sungai bervariasi dengan kisaran dari 4.6 hingga 10.47. Data kemiringan dasar saluran dan morfometri sungai disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13 Morfometri Sungai

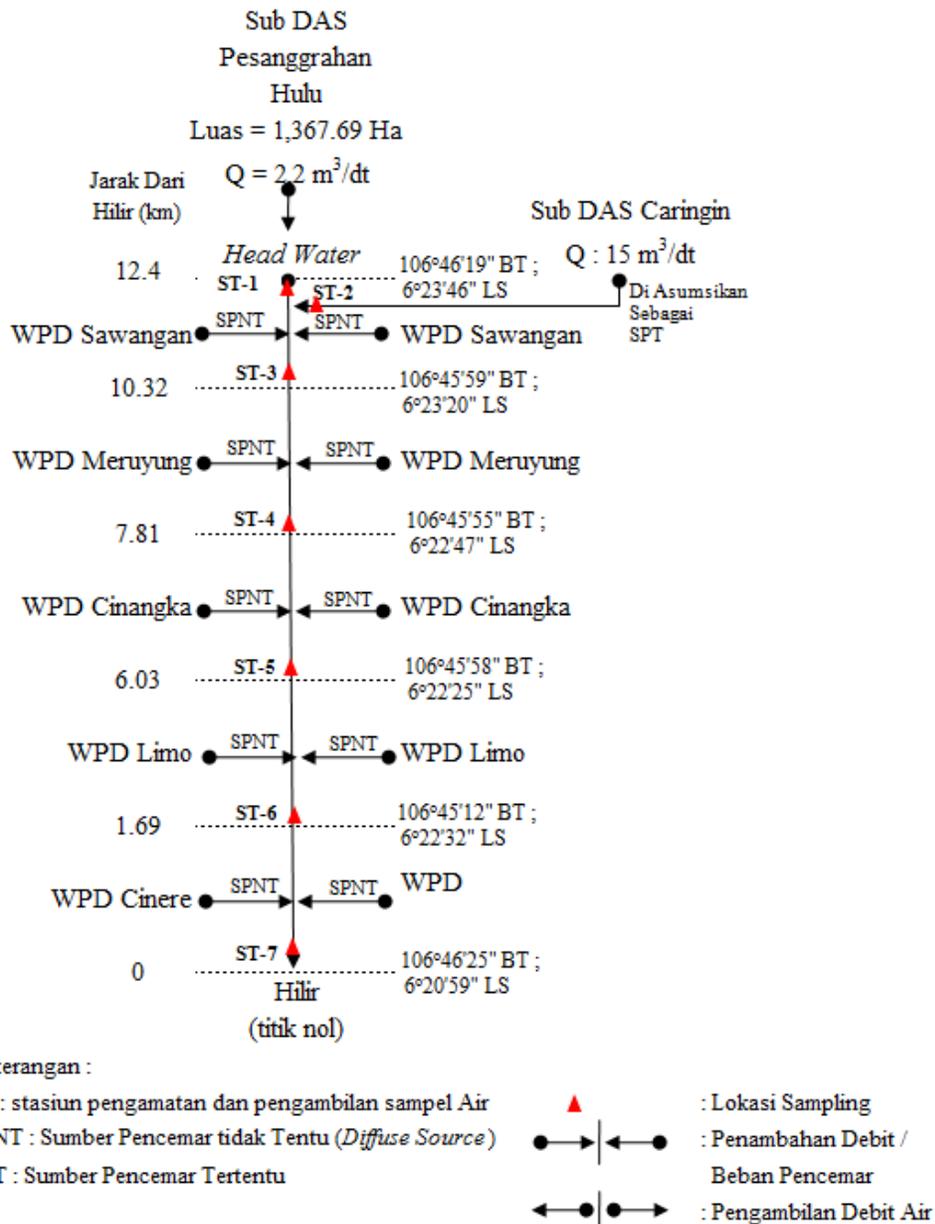
Nama Segmen Sungai	<i>Downstream</i> (Batas Akhir Segmen)	Kemiringan	Koefisien	Lebar Sungai
		Dasar Saluran ( <i>m/m</i> )	Kekasaran <i>Manning</i>	
-	<i>Head Water</i>	0.002	0.0500	4.60
<i>Head Water</i>	Sawangan	0.050	0.0500	6.80
Sawangan	Meruyung	0.001	0.0500	10.80
Meruyung	Cinangka	0.006	0.0500	10.00
Cinangka	Limo	0.002	0.0500	8.00
Limo	Cinere	0.002	0.0500	10.47

Kondisi tutupan awan dan bayangan tajuk (tutupan tajuk pohon) di amati secara langsung di lapangan. Pada saat pengamatan kondisi cuaca cerah dengan kondisi penutupan awan yang relatif bersih berkisar dari 5 hingga 15 %. Kondisi tutupan tajuk di atas permukaan badan sungai bervariasi. Pada umumnya dari wilayah segmen satu hingga segmen dua tutupan tajuk berkisar dari 70 hingga 60 % hal ini terlihat dari kondisi pohon dan tanaman yang menempati sempadan sungai, sedangkan pada segmen tiga hingga lima tutupan tajuk berkurang seiring dengan perubahan penggunaan lahan dimana wilayah permukiman dan lahan terbuka menempati kawasan sempadan sungai. Data hasil pengamatan tutupan awan dan bayangan atau tutupan tajuk di sajikan pada Tabel 14.

Tabel 14 Data Tutupan Awan dan Tutupan Tajuk

Nama Segmen Sungai	<i>Downstream</i> (Batas Akhir Segmen)	Tutupan Awan	Tutupan Tajuk
		%	%
-	Headwater	15	70
Head Water	Sawangan	15	70
Sawangan	Meruyung	5	60
Meruyung	Cinangka	5	10
Cinangka	Limo	5	10
Limo	Cinere	5	5

Selanjutnya berdasarkan segmentasi sungai dan hasil pengukuran lapangan (*In situ*) dibuat gambar skematik Sungai Pesanggrahan. Skematik Sungai pesanggrahan disajikan pada Gambar 17.



Gambar 17 Skematik Segmentasi Sungai Pesanggrahan

### Potensi Beban Pencemaran

Beban pencemaran di wilayah penelitian didekati melalui perhitungan potensi beban pencemaran (PBP). Hasil perhitungan total PBP di wilayah penelitian memperlihatkan besaran beban pencemar BOD, COD dan TSS secara berurutan 9,535.07; 21,310.44; 4,188.17 kg/hari. Wilayah Sub DAS Pesanggrahan di Kota Depok mempunyai PBP terbesar untuk BOD 4,814.95 kg/hari, COD 6,175.06 kg/hari dan TSS 2,151.38 kg/hari. Kota Depok secara keseluruhan merupakan kontributor potensi beban pencemar paling banyak yaitu BOD 8,412.46 kg/hari, COD 9,658.96 kg/hari dan TSS

3,733.38 kg/hari. PBP dari setiap parameter menurut wilayah dan sub das dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15 Potensi Beban Pencemar Menurut Parameter BOD, COD dan TSS

Administrasi / Sub DAS	Potensi Beban Pencemar (kg/hari)		
	BOD	COD	TSS
<b>1. Kota Depok</b>			
a. Sub das Pesanggrahan Hulu	4,814.95	6,175.06	2,151.38
b. Sub DAS Caringin	1,946.07	1,969.00	653.93
c. WPD Sawangan	497.70	619.15	305.25
d. WPD Meruyung	276.70	251.06	171.66
e. WPD Cinangka	203.63	158.44	108.95
f. WPD Limo	477.90	331.06	235.31
g. WPD Cinere	195.52	155.19	106.90
Sub Total	8,412.46	9,658.96	3,733.38
<b>2. Kabupaten Bogor</b>			
a. Sub das Bedahan	732.43	478.38	229.43
b. Sub das Pasir Putih	348.46	327.57	198.21
Sub Total	1,080.89	805.95	427.63
<b>3. Tangerang Selatan</b>			
a. Sub das Cinere	41.72	51.54	27.15
Sub Total	41.72	51.54	27.15
Total	9,535.07	10,516.45	4,188.17

Berdasarkan sumber pencemarnya, limbah rumah tangga merupakan penyumbang potensi pencemaran paling besar. PBP pencemar terbesar berasal dari Kota Depok dan masuk ke setiap segmen sungai. PBP BOD, COD dan TSS yang bersumber dari rumah tangga sebesar 4,038.74 kg/hari (BOD), 5,548.85 kg/hari (COD) dan 3,905.66 kg/hari (TSS), dari pertanian sebesar 2,738.89 kg/hari (BOD), 55.39 kg/hari (TSS) sedangkan dari Peternakan sebesar 2,518.37 kg/hari (BOD) dan 4,638.87 kg/hari (COD). Secara keseluruhan sumber potensi beban pencemar terbesar berasal dari kegiatan rumah tangga seperti ditunjukkan pada Tabel 16.

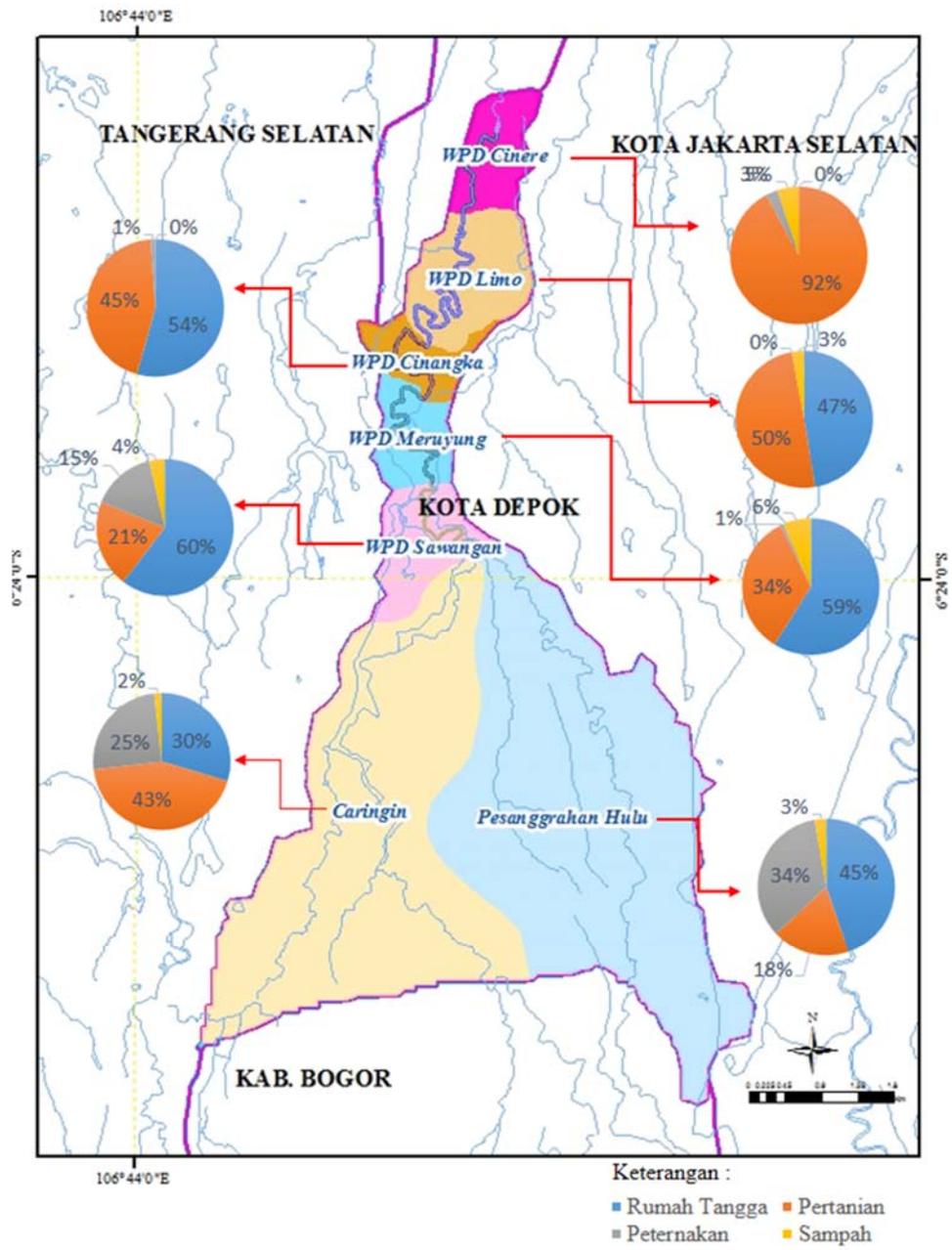
Tabel 16 Potensi Beban Pencemar menurut Sektor Kegiatan

Parameter	Rumah Tangga	Pertanian <sup>1)</sup>	Peternakan <sup>2)</sup>	Sampah	Total
BOD	4,038.74	2,738.89	2,518.37	239.07	9,535.07
COD	5,548.85	-	4,638.87	328.72	10,516.45
TSS	3,905.66	55.39	-	227.12	4,188.17

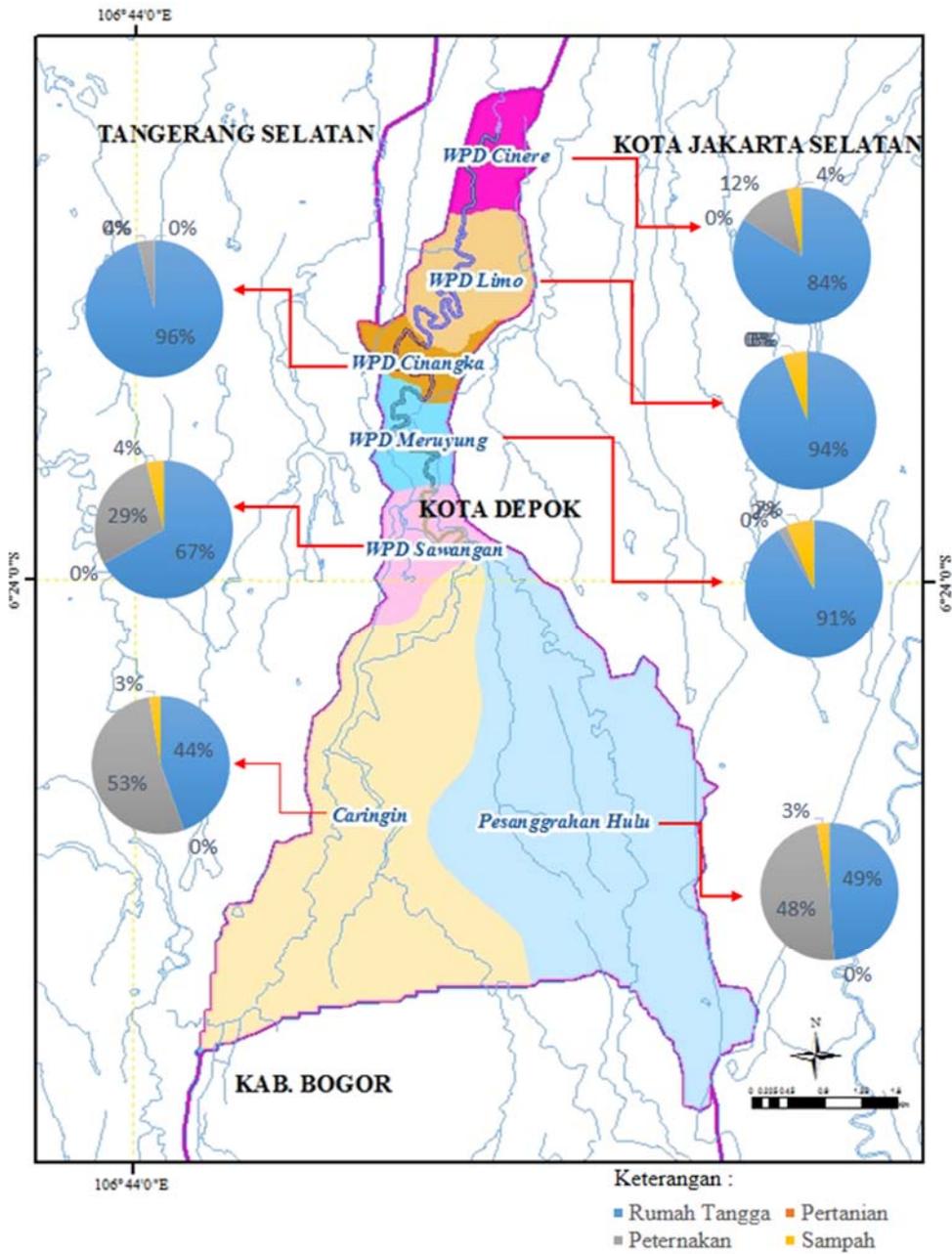
1) PBP parameter COD dari pertanian tidak dihitung

2) PBP parameter TSS dari peternakan tidak dihitung

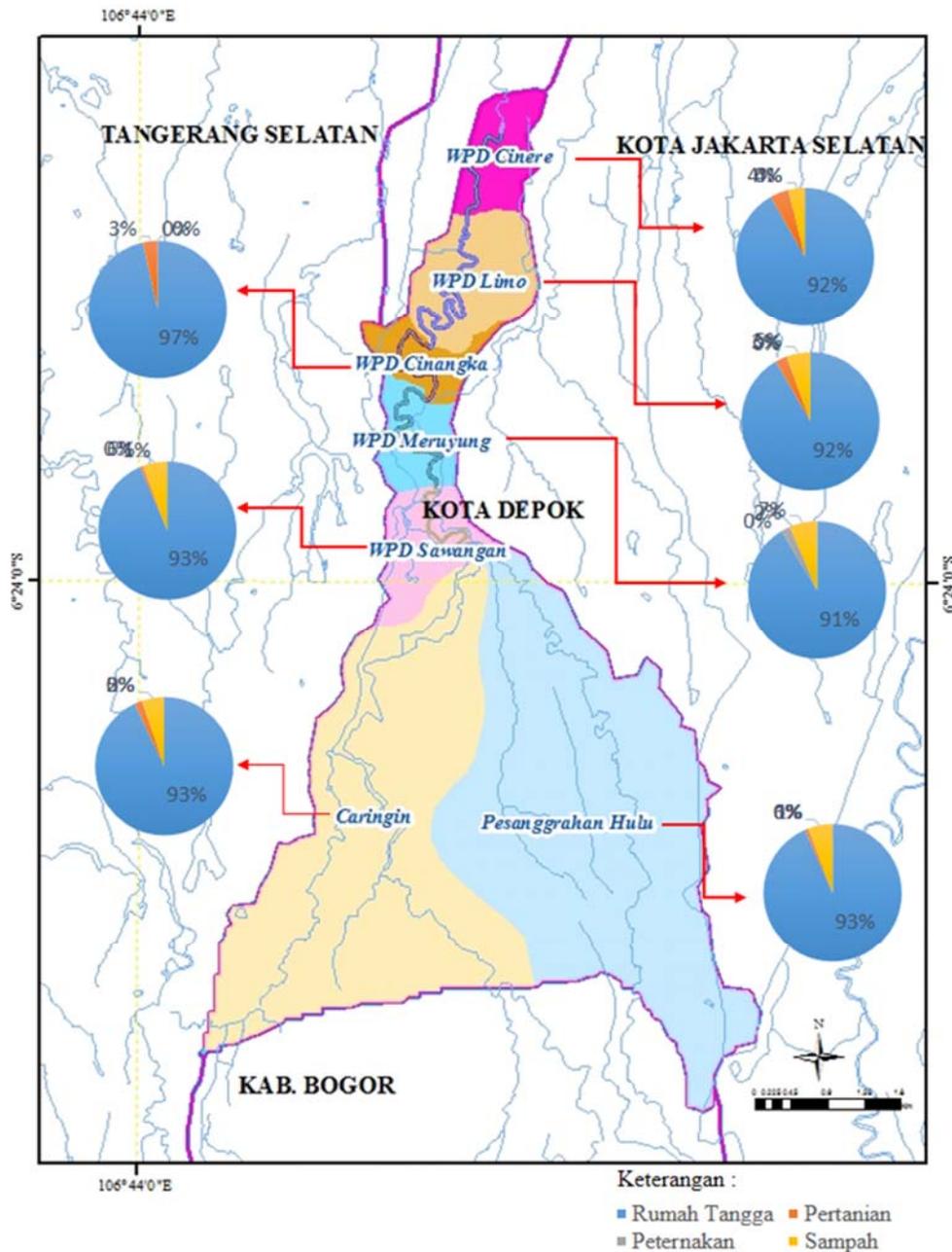
Lokasi sumber pencemar ditelusuri dengan menggunakan pendekatan Sub DAS dan WPD yang bermuara segmen-segmen 1, 2, 3, 4 dan segmen 5 di sungai Pesanggrahan seperti ditunjukkan pada Peta Distribusi PBP BOD, COD dan TSS pada Gambar 18, 19 dan 20.



Gambar 18 Peta Potensi Beban Pencemar BOD



Gambar 19 Peta Potensi Beban Pencemar COD



Gambar 20 Peta Potensi Beban Pencemar TSS

### Status Mutu Air

Sungai merupakan badan air utama yang digunakan untuk kegiatan domestik, industri, pertanian dan sering membawa limbah perkotaan, air limbah industri dan limpasan musiman dari lahan pertanian (Mustapa *et al.* 2004). Kualitas air sungai adalah gabungan dari beberapa senyawa yang saling terkait, yang mengalami variasi dari kondisi lokal, temporal dan juga dipengaruhi oleh volume aliran air (Mandal *et al.* 2010).

Perhitungan status mutu air mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Pasal 55 peraturan tersebut menyatakan apabila baku mutu air pada sumber air belum atau tidak ditetapkan, maka berlaku kriteria mutu air Kelas II. Sungai Pesanggrahan, belum ditetapkan kelas airnya, oleh karena itu kriteria kualitas air Kelas II digunakan sebagai acuan.

Berdasarkan analisis indeks pencemar diperoleh status mutu air di setiap lokasi pengambilan sampel sebagian besar mempunyai status mutu air cemar sedang hanya ada satu lokasi yaitu titik ST-3 yang mempunyai status mutu air cemar ringan. Hasil perhitungan indeks pencemar disajikan pada Tabel 17.

Tabel 17 Hasil perhitungan Status Mutu Air

No	Lokasi	Nilai Indeks Pencemar'	Status Mutu Air	Keterangan
1	ST-1	8.792	Cemar Sedang	S. Pesanggrahan
2	ST-2	5.379	Cemar Sedang	Anak S. Pesanggrahan
3	ST-3	3.868	Cemar Ringan	S. Pesanggrahan
4	ST-4	8.785	Cemar Sedang	S. Pesanggrahan
5	ST-5	8.759	Cemar Sedang	S. Pesanggrahan
6	ST-6	8.721	Cemar Sedang	S. Pesanggrahan
7	ST-7	8.715	Cemar Sedang	S. Pesanggrahan

Kondisi kualitas air dari arah hulu ke hilir yang diwakili oleh paramater BOD, COD dan TSS mempunyai nilai konsentrasi yang berfluktuasi dan cenderung menurun nilainya. Untuk parameter BOD dan COD terjadi kenaikan pada segmen 5 sedangkan untuk parameter TSS terjadi kenaikan pada segmen 2 dan segmen 5. Kenaikan ini kemungkinan disebabkan keberadaan pemukiman penduduk dengan kepadatan yang tinggi sebagai sumber pencemar TSS pada segmen Sub DAS Cinangka dan Sub DAS Cinere . Murijal (2012) menyatakan bahwa berdasarkan indeks biotik, kondisi perairan sungai pesanggrahan dari hulu sampai dengan hilir masuk ke dalam tingkat pencemaran sedang sampai tingkat pencemaran berat. Kondisi kualitas air sungai pesanggrahan hasil analisa laboratorium disajikan pada Tabel 18.

Tabel 18 Hasil Analisa Laboratorium

No	Parameter	Satuan	DL	BM**)	Lokasi Sampling							Metode/Alat	
					II	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6		ST-7
<b>I FISIKA</b>													
1	Kedalaman *)	m	-	-	0.75	0.20	6.58	0.60	1.02	1	1	1	Alat ukur meter
2	Suhu *)	°C	-	dev.3	28.4	29.0	28.2	28.3	29.0	29.7	29.7	29.4	Termometer Meter
3	TSS +	mg/L	8	50	57.00	36	53	73	63	39	39	43	APHA, 2012, 2540-D
4	Cuaca	-	-	-	Cerah	Cerah	Cerah	Cerah	Cerah	Cerah	Cerah	Berawan	Visual
<b>II KIMIA</b>													
1	pH *)	-	-	6-9	6.40	6.05	6.32	6.36	6.45	6.96	6.96	6.82	APHA, 2012, 4500-H+-B
2	DO *)	mg/L	-	4	5.7	3.4	5.7	5.7	6.2	6.8	6.8	7.0	DO Meter
3	BOD <sub>5</sub>	mg/L	-	3	5.60	6.20	5.8	5.6	4.40	4.00	4.00	3.60	APHA, 2012, 5210-B
4	COD +	mg/L	4,37/R	25	49.79	44.64	44.21	42.07	36.07	41.64	41.64	40.36	APHA, 2012, 5220-D
5	Total Fosfat +	mg/L	0.005	0.2	0.143	0.121	0.118	0.130	0.147	0.147	0.147	0.157	APHA, 2012, 4500-P-E
6	Amonia (NH <sub>3</sub> -N) +	mg/L	0.005	(-)	0.620	0.784	0.290	0.180	0.133	0.093	0.093	0.133	APHA, 2012, 4500-NH3-F
7	Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.050	10	1.457	1.288	1.556	1.581	1.864	1.939	1.939	1.825	APHA, 2012, 4500-NO3-E
8	Nitrit (NO <sub>2</sub> -N) +	mg/L	0.005	0.06	0.414	0.222	0.433	0.339	0.264	0.142	0.142	0.128	APHA, 2012, 4500-NO2-B
9	Minyak dan Lemak	mg/L	1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	APHA, 2012, 5520-B
<b>III MIKRO BIOLOGI</b>													
1	Total Coliform	MPN/100mL	0	5000	160,000	92,000	1,400	160,000	160,000	160,000	160,000	160,000	APHA, 2012, 9222-B
2	Fecal Coli	MPN/100mL	0	1000	160,000	4,300	940	160,000	160,000	160,000	160,000	160,000	APHA, 2012, 9222-D

Keterangan :

+ : Parameter Terakreditasi

DL : Deteksi Limit

\*) : Baku mutu menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

\*) : Data insitu oleh tim lapangan

### Daya Tampung Beban Pencemaran

Perhitungan DTBPA mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Pasal 55 peraturan tersebut menyatakan apabila baku mutu air pada sumber air belum atau tidak ditetapkan, maka berlaku kriteria mutu air Kelas II. Sungai Pesanggrahan, belum ditetapkan kelas airnya, oleh karena itu kriteria kualitas air kelas II digunakan sebagai acuan. Parameter kunci yang akan digunakan dalam model mempunyai nilai Baku Mutu Kelas II sebagai berikut 3 mg/l (BOD), 25 mg/l (COD) dan 50 mg/l (TSS).

Daya Tampung Beban Pencemaran Air (DTBPA) dihitung dengan model numerik dengan menggunakan perangkat lunak QUAL2Kw. Perhitungan DTBPA didasarkan pada dua skenario model. Skenario satu merupakan perhitungan DTBPA untuk mendapatkan nilai Beban Pencemaran Aktual yang masuk kedalam sungai, sedangkan skenario dua adalah perhitungan model untuk mendapatkan nilai daya tampung beban pencemaran sungai. Perlakuan dan output dari model pada setiap skenario disajikan pada Tabel 19.

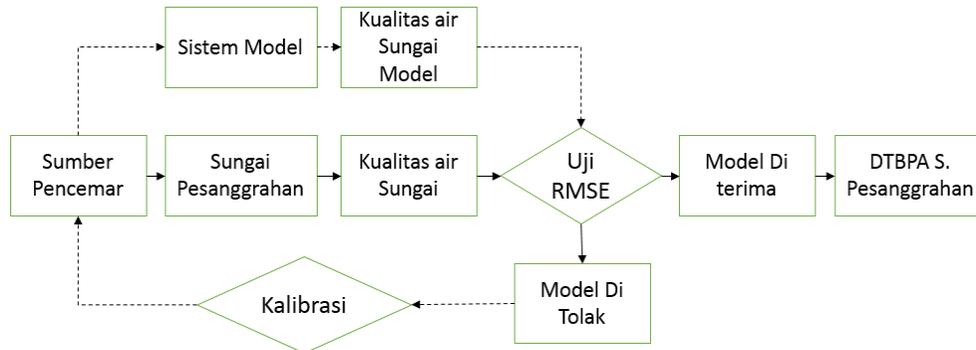
Tabel 19 Skenario Model Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Air

Skenario	Perlakuan di Hulu			Output Kualitas Air
	Debit	Kualitas Air	Beban Pencemar	
1	Hasil Pengukuran	Hasil Pengukuran	Hasil Pengukuran	Kondisi Aktual
2	Hasil Pengukuran	Baku Mutu Kelas II	Input Model	Baku Mutu Kelas II

Untuk memprediksi daya tampung beban pencemaran, diperlukan model yang mampu menirukan proses-proses yang terjadi di alam, walaupun tentunya dengan menggunakan penyederhanaan dan asumsi-asumsi. Kurniawan (2010), menjelaskan bahwa model adalah representasi suatu sistem yang kompleks yang disederhanakan. Pemodelan dimaksudkan untuk menggantikan kondisi nyata (*real world*) sehingga memungkinkan untuk mengukur dan bereksperimen dengan cara yang mudah dan murah ketika eksperimen di laboratorium tidak mungkin dilakukan, terlalu mahal, atau membutuhkan waktu yang lama (*time-consuming*). Pemodelan merupakan salah satu cara yang paling baik dalam pengorganisasian dan sintesis data lapangan yang juga bisa digunakan untuk membantu analisis secara kuantitatif.

Menurut Abdi (2011) apabila pada suatu sistem sungai masuk atau dimasukkan bahan pencemar, maka sistem sungai mendapatkan beban pencemaran yang dapat menyebabkan kualitas air pada sistem sungai berubah. Proses simulasi pemodelan dalam analisis DTBPA dilakukan dengan menganalisis sampel air yang diambil pada beberapa titik di sistem sungai sebagai gambaran kondisi kualitas air pada setiap titik. Di sisi lain, sistem model dipergunakan untuk memprediksi sebaran kualitas air di sepanjang sungai dengan memasukkan data kualitas air pada sumber pencemar titik dan sumber pencemar non titik yang diketahui. Selanjutnya data sebaran kualitas air sungai dari hasil pemantauan di lapangan dibandingkan dengan data perkiraan sebaran kualitas air yang diperoleh dari proses pemodelan untuk menguji apakah hasil pemodelan

memiliki kemiripan dengan data pemantauan atau tidak. Jika belum ada kemiripan (model ditolak), maka dilakukan *adjustment* atau penyesuaian melalui proses kalibrasi berulang-ulang hingga diperoleh hasil yang paling mirip (model diterima). Proses simulasi model DTBPA disajikan pada Gambar 21.



Gambar 21 Proses Simulasi model DTBPA

Selanjutnya daya tampung sungai ditentukan berdasarkan peruntukan air sungai yang ditetapkan melalui baku mutu air sungai. Sementara itu, besarnya beban pencemaran dihitung berdasarkan simulasi model sebaran kualitas air sungai yang direferensikan pada data hasil observasi. Sebaran data kualitas air hasil pemodelan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebaran data yang telah teruji kecocokannya dengan sebaran data observasi. Selisih antara jumlah beban pencemaran dengan daya tampung sungai merupakan angka kelebihan atau kekurangan beban pencemaran sungai yang membutuhkan pengelolaan.

## Parameter BOD

### 1). Skenario Satu

Skenario satu yaitu skenario yang memberikan gambaran model kualitas air yang paling sesuai dengan hasil pemantauan. Pada skenario satu simulasi dilakukan secara berulang-ulang terhadap konsentrasi  $BOD_{model}$  untuk menghasilkan kombinasi konsentrasi dan debit pada sumber pencemar yang paling sesuai dengan sebaran konsentrasi BOD hasil pemantauan ( $BOD_{pemantauan}$ ). Perbandingan antara sebaran konsentrasi  $BOD_{pemantauan}$  dengan model konsentrasi  $BOD_{model}$  diperlihatkan pada Gambar 22.

Total beban pencemaran air untuk parameter BOD yang masuk ke Sungai Pesanggrahan adalah sebesar 8,270.42 kg per hari. Beban pencemar terbesar diperoleh dari bagian hulu atau Sub DAS Caringin yaitu sebesar 8,035.20 kg/hari atau 98.1 % dari seluruh beban pencemar. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas air di segmen 1, 2, 3, 4 dan 5 dengan status mutu tercemar ringan hingga tercemar sedang, kemungkinan diakibatkan oleh pasokan air dari bagian hulu yang mempunyai beban pencemar yang tinggi. Sumber pencemar SPNT yang memberikan tambahan beban dalam jumlah besar berasal dari segmen 4 pada kilometer 1.7 sampai kilometer 0.5 sebesar 115.17 kg/hari, SPNT2 (kilometer 7.81 sampai 6.04) sebesar 24.24 kg/hari. Hal ini sesuai dengan kondisi luas WPD Limo yang mempunyai luas areal lebih besar (215.1 Ha) dibandingkan WPD lainnya. Perhitungan beban pencemaran BOD disajikan pada Tabel 20.

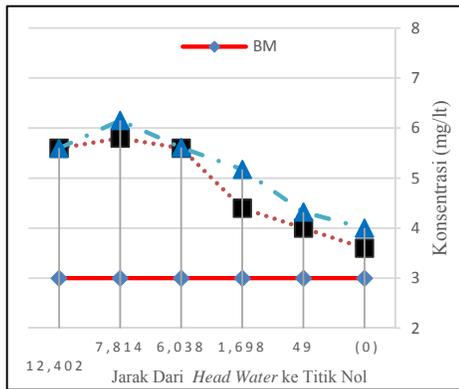
## 2). Skenario dua

Proses simulasi skenario 2 dilakukan dengan penambahan dan pengurangan beban terhadap BOD DTBPA model (BODdtbpa-m) sampai diperoleh sebaran BOD yang mendekati baku mutu kelas II (3 mg/l), sehingga menghasilkan daya tampung beban pencemaran BOD seperti yang disajikan pada Gambar 23 dan Tabel 20.

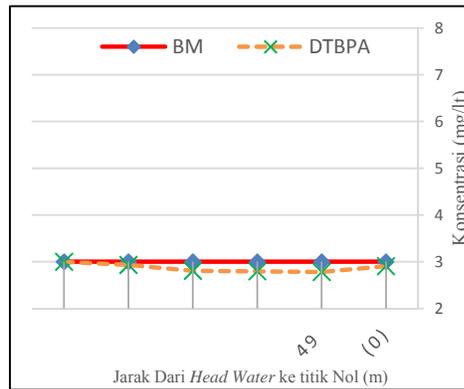
Berdasarkan Tabel 20, total daya tampung beban pencemaran BOD sebesar 4,002.25 kg/hari menunjukkan nilai jauh di bawah total beban pencemaran BOD sebesar 8,270.42 kg/hari. Hal ini berarti sudah tidak tersedia ruang bagi penambahan beban BOD di setiap segmen. Seluruh segmen mempunyai nilai DTBPA lebih kecil dibandingkan nilai beban pencemarannya. Nilai DTBPA diperoleh dengan skenario limbah yang dibuang sumber pencemar di Sub DAS Caringin (dalam hal ini Sub DAS Caringin dianggap sebagai SPT) mempunyai konsentrasi sama dengan 3 mg/l dan total debit tetap sesuai pengukuran yaitu 15 m<sup>3</sup>/dtk. Kondisi tersebut menjadikan alokasi beban di Sub DAS Caringin menurun menjadi sebesar 8,035.2 kg/hari. Untuk mendapatkan angka daya tampung di bagian hilir, maka dilakukan juga penambahan dan pengurangan beban yang berasal dari sumber-sumber pencemar SPNT. Skenario dua menjadikan adanya penyeimbangan antara beban pencemaran yang datang dari daerah hulu dengan kondisi kualitas air di daerah hilirnya. Penambahan beban yang dilakukan pada setiap segmen hingga kualitas airnya melebihi nilai BOD dengan baku mutu air kelas II (3 mg/l) akan menyebabkan kualitas air pada segmen di bagian hilirnya melampaui baku mutu.

## 2) Rekapitulasi Daya Tampung Beban Pencemaran BOD

Berdasarkan Tabel 20, total beban pencemaran BOD di sungai utama sebesar 8,270.42 kg/hari sedangkan DTBPA 4,002.25. Hal ini berarti total beban pencemaran dari parameter BOD yang diperbolehkan masuk ke seluruh segmen Sungai Pesanggrahan adalah 4,002.25 kg/hari. Bila dibandingkan dengan beban riil yang masuk, maka terdapat selisih sebesar 4,268.17 kg/hari. Selanjutnya untuk mencapai kualitas air yang memenuhi target sasaran mutu air kelas II, maka diperlukan penurunan beban pada setiap lokasi sumber pencemar. Penurunan beban rata-rata segmen 1 hingga segmen 5 adalah sekitar 0.5 % dari total beban atau 89.2 kg/hari. Hal ini sangat jauh dibandingkan penurunan beban yang harus dilakukan di Sub DAS Caringin yaitu sebesar 4,147.20 kg/hari. Pengurangan beban secara alami bisa terjadi karena proses *self purification* dan masuknya sejumlah air ke sungai utama (misal: aliran air tanah dan aliran anak sungai) dengan kualitas yang lebih baik. Namun demikian pengurangan beban secara alami ini belum bisa mengimbangi laju beban yang masuk dalam tiap segmen. Rekapitulasi perhitungan DTBPA untuk parameter BOD dapat dilihat pada Tabel 20.



Gambar 22 Konsentrasi BOD Pemantauan dengan BOD Model



Gambar 23 Konsentrasi BOD DTBPA dengan BOD DTBPA Model

Tabel 20 Rekapitulasi Perhitungan DTBPA BOD

Segmen		Sub DAS / WPD	Luas (Ha)	BP BOD (kg/hari)	DTBPA BOD (kg/hari)	Penurunan Beban BOD (kg/hari)
Nama	Jarak Dari Hilir (km)					
Head Water	12.4	Sub DAS Pesanggrahan Hulu	1,202.2	67.74	36.29	(31.45)
Segmen 1	12.3	Sub DAS Caringin	1,367.7	8,035.20	3,888.00	(4,147.20)
Segmen 1	10.33	WPD Sawangan	149.2	5.31	1.82	(3.49)
Segmen 2	7.81	WPD Meruyung	109.7	24.24	8.81	(15.42)
Segmen 3	6.04	WPD Cinangka	85.6	8.93	3.58	(5.36)
Segmen 4	1.7	WPD Limo	215.1	115.17	56.25	(58.92)
Segmen 5	0.5	WPD Cinere	131.1	13.82	7.50	(6.32)
Total	12.4		3,260.6	8,270.42	4,002.25	(4,268.17)

**Parameter COD**

1) Skenario Satu

Berdasarkan skenario satu total beban pencemaran air di sungai Pesanggrahan segmen Kota Depok untuk parameter COD adalah sebesar 59,788.22 kg per hari. Beban terbesar disumbang dari Sub DAS Caringin yang mencakup 57,853.44 kg per hari atau 97 % dari seluruh beban pencemar. Beban pencemar yang tinggi dapat dipahami sesuai dengan luas cakupan WPD Caringin yaitu 1,367.7 kg/hari. Sub DAS ini diasumsikan sebagai SPT yang bersumber dari berbagai kegiatan di dalamnya. Ke arah hilir beban pencemar di segmen 4 sebesar 937.44 kg/hari yang berasal dari WPD Limo. Beban pencemaran terkecil berada pada segmen 1 sebesar 36.29 kg/hari. Dapat dipahami meskipun wilayah penyumbangnya lebih besar dibandingkan dengan segmen 5 namun beban pencemar di wilayah ini kemungkinan tidak masuk ke badan sungai. Grafik hasil simulasi skenario satu untuk parameter COD disajikan pada Gambar 24. Rekapitulasi perhitungan DTBPA untuk parameter COD disajikan pada Tabel 21.

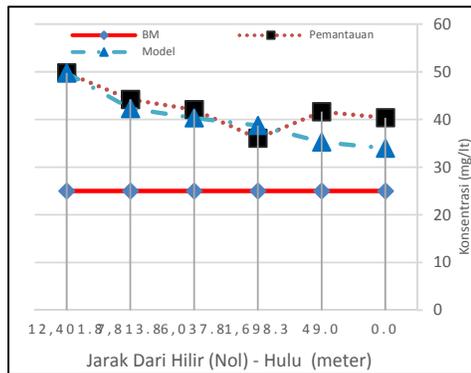
## 2) Skenario dua

Proses simulasi skenario 2 dilakukan dengan melakukan penambahan dan pengurangan beban terhadap COD DTBPA (model) sampai diperoleh sebaran COD yang mendekati baku mutu (*COD bakumutu*) sehingga menghasilkan kombinasi debit dan konsentrasi pada setiap sumber pencemar yang digunakan dalam perhitungan daya tampung beban pencemaran COD. Hasil simulasi dan perhitungan diperoleh total DTBPA sungai pesanggrahan adalah sebesar 33,631.20 kg/hari. Apabila dibandingkan dengan besarnya beban pencemar yang ada, maka dapat dikatakan bahwa untuk parameter COD, DTBPA di sungai pesanggrahan sudah terlampaui oleh besarnya beban yang masuk. Namun demikian dapat dipahami bahwa besarnya beban yang masuk lebih banyak dipengaruhi oleh kontribusi beban pencemaran air yang berasal dari wilayah atas terutama dari Sub DAS Caringin. Grafik hasil simulasi skenario dua untuk parameter COD disajikan pada Gambar 25.

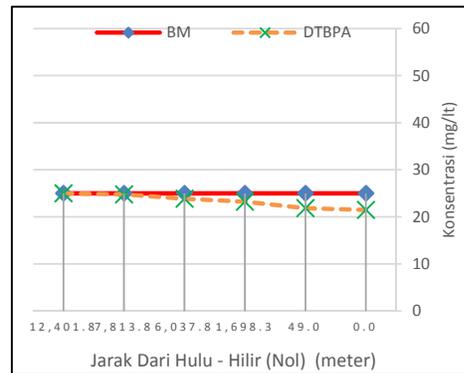
Berdasarkan Tabel 21, total daya tampung beban pencemaran COD sebesar 33,631.20 kg/hari (97 %) di bawah total beban pencemaran COD sebesar 59,789.66 kg/hari, berarti sudah tidak tersedia ruang bagi penambahan beban COD. Diseluruh segmen nilai DTBPA COD lebih kecil dibandingkan beban pencemaran di masing-masing segmen. Skenario dua menjadikan adanya penyeimbangan antara beban pencemaran yang datang dari daerah hulu dengan kondisi kualitas air di daerah hilirnya. Penambahan beban yang dilakukan pada setiap segmen menyebabkan kualitas airnya memiliki nilai COD lebih besar dari 25 mg/l akan menyebabkan kualitas air di hilirnya melampaui baku mutu.

## 3) Rekapitulasi Daya Tampung Beban Pencemaran COD

Berdasarkan Tabel 21, total beban pencemaran COD di sungai utama sebesar 59,789.66 kg/hari. Jumlah tersebut berasal dari masuknya beban COD dari anak sungai Caringin (Sub DAS Caringin) sebesar 57,853.44 kg/hari. Penambahan dan pengurangan beban juga berasal dari sumber-sumber pencemar *non titik* (SPNT). Sumber pencemar *non titik* yang memberikan tambahan beban dalam jumlah besar adalah dari segmen 4 atau WPD Limo pada kilometer 1.7 hingga kilometer 0.5 sebesar 937.44 kg/hari, segmen 2 atau WPD meruyung (kilometer 7.81 sampai 6.04) sebesar 172.80 kg/hari. Penurunan nilai beban terjadi pada lokasi segmen 1, segmen 3 dan segmen 5 yang masing-masing sebesar 21.60, 43.20 dan 86.40 kg/hari. Pengurangan beban secara alami bisa terjadi karena proses *self purification* dan masuknya sejumlah air ke sungai utama (misal: aliran air tanah dan aliran anak sungai) dengan kualitas yang lebih baik. Namun demikian pengurangan beban secara alami ini belum bisa mengimbangi laju beban yang masuk dalam tiap segmen. Beban pencemaran COD total yang diperbolehkan masuk ke seluruh segmen Sungai Pesanggrahan 533,61.20 kg/hari. Bila dibandingkan dengan beban riil yang masuk, maka terdapat selisih sebesar 26,158.46 kg/hari atau rata-rata setiap segmen harus menurunkan beban pencemar sebesar 16.6 % agar memenuhi DTBPA dengan baku mutu kelas II. Profil COD sesuai dengan DTBP ini dapat diperoleh dengan menggunakan skenario yaitu COD di hulu disesuaikan dengan mutu air kelas II sedangkan beban yang masuk diinput dengan *trial and error* sehingga diperoleh nilai COD mendekati Baku Mutu. Perbandingan konsentrasi COD dengan COD DTBPA model disajikan pada Gambar 25. Rekapitulasi perhitungan DTBPA untuk parameter COD dapat dilihat pada Tabel 21.



Gambar 24 Konsentrasi COD Pemantauan dengan COD Model



Gambar 25 Konsentrasi COD DTBPA dengan COD DTBPA Model

Tabel 21 Rekapitulasi Perhitungan DTBPA COD

Segmen		Sub DAS / WPD	Luas (Ha)	BP COD (kg/hari)	DTBPA COD (kg/hari)	Penurunan Beban COD (kg/hari)
Nam	Jarak Dari Hilir (km)					
Head Water	12.4	Sub DAS Pesanggrahan Hulu	1,202.2	604.80	302.40	(302.40)
Segmen 1	12.3	Sub DAS Caringin	1,367.7	57,853.44	32,400.00	(25,453.44)
Segmen 1	10.33	WPD Sawangan	149.2	36.29	21.60	(14.69)
Segmen 2	7.81	WPD Meruyung	109.7	172.80	108.00	(64.80)
Segmen 3	6.04	WPD Cinangka	85.6	67.39	43.20	(24.19)
Segmen 4	1.7	WPD Limo	215.1	937.44	669.60	(267.84)
Segmen 5	0.5	WPD Cinere	131.1	117.50	86.40	(31.10)
Total	12.4		3,260.6	59,789.66	33,631.20	(26,158.46)

## Parameter TSS

### 1). Skenario Satu

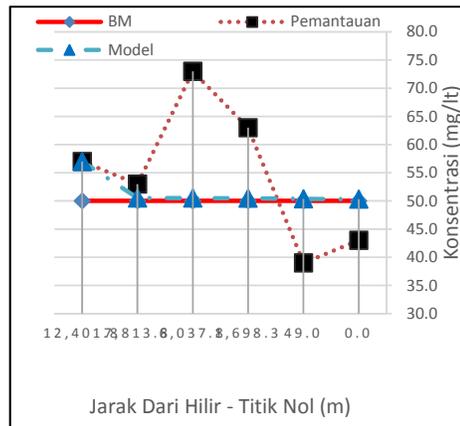
Dari hasil analisis dan perhitungan simulasi model dengan skenario satu, diperoleh nilai total beban pencemaran air untuk parameter TSS yang masuk ke Sungai Pesanggrahan 49,217.47 kg per hari. Beban terbesar disumbang dari wilayah Sub DAS Caringin yang mencakup 46,656.00 kg per hari (95 %) dan Sub DAS Pesanggrahan Hulu sebesar 604.80 kg/hari (1.2 %) dari seluruh beban pencemar yang masuk. Untuk segmen dibawahnya, beban terbesar di segmen segmen 4 sebesar 1,349.11 kg/hari (2.71%), untuk segmen yang lain berkisar dari 0.09 % hingga 0.44 % memberikan beban pencemar ke masing-masing segmennya. Grafik hasil simulasi skenario satu untuk parameter TSS disajikan pada Gambar 26. Hasil perhitungan beban pencemaran TSS disajikan pada Tabel 22.

## 2) Skenario dua

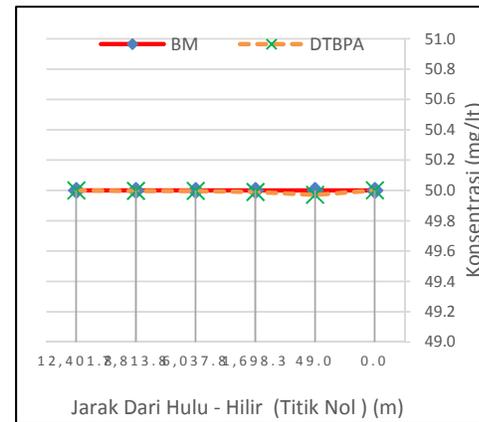
Hasil analisis dan perhitungan pemodelan dengan skenario dua, diperoleh nilai total daya tampung beban pencemaran TSS di sungai pesanggrahan Kota Depok adalah sebesar 49,115.26 kg/hari lebih kecil -121.96 kg/hari dibandingkan dengan beban pencemaran TSS yang masuk. Hal ini berarti sudah tidak tersedia ruang bagi penambahan beban TSS. Diseluruh segmen nilai DTBPA TSS lebih kecil dibandingkan beban pencemaran di masing-masing segmen, kecuali di Sub DAS Caringin masih mampu menampung beban sebesar 5.18 kg/hari. Hal ini kemungkinan dikarenakan kemampuan *self purification* sungai caringin yang masih mampu menampung beban pencemar TSS. Skenario dua menjadikan adanya penyeimbangan antara beban pencemaran yang datang dari daerah hulu dengan kondisi kualitas air di daerah hilirnya. Penambahan beban yang dilakukan pada setiap segmen menyebabkan kualitas airnya memiliki nilai TSS lebih besar dari 50 mg/lit akan menyebabkan daya tampung di hilirnya terlampaui. Grafik hasil simulasi skenario satu untuk parameter TSS disajikan pada Gambar 27.

## 3) Rekapitulasi Daya Tampung Beban Pencemaran TSS

Total beban pencemaran TSS di sungai utama sebesar 49,217.47 kg/hari. Jumlah tersebut berasal dari masuknya beban TSS dari anak sungai Caringin sebesar 46,656.00 kg/hari. Penambahan dan pengurangan beban juga berasal dari sumber-sumber pencemar SPNT. SPNT yang memberikan penambahan beban dalam jumlah besar berasal dari segmen 4 pada kilometer 1.7 sampai kilometer 0.5 sebesar 1,349.11 kg/hari, segmen 2 (kilometer 7.81 sampai 6.04) sebesar 218.16 kg/hari. Penurunan nilai beban terjadi pada lokasi segmen 1, segmen 3 dan segmen 5 yang masing-masing sebesar 43.02, 87.19 dan 173.86 kg/hari. Sebagaimana dengan parameter BOD, COD maka pengurangan beban pencemar dari parameter TSS dapat secara alami terjadi karena proses *self purification* dan masuknya sejumlah air ke sungai utama (misal: aliran air tanah dan aliran anak sungai) dengan kualitas yang lebih baik. Namun demikian pengurangan beban secara alami ini belum bisa mengimbangi laju beban yang masuk dalam tiap segmen. Beban pencemaran TSS total yang diperbolehkan masuk ke seluruh segmen Sungai Pesanggrahan 49,115.26 kg/hari. Bila dibandingkan dengan beban riil yang masuk, maka terdapat selisih sebesar 101.21.96 kg/hari atau rata-rata setiap segmen harus menurunkan beban pencemar sebesar 3 % di bagian segmen 1 hingga segmen 5 dan 83% harus diturunkan dari Sub DAS Pesanggrahan di bagian hulu agar memenuhi DTBPA. Profil TSS sesuai dengan DTBP ini dapat diperoleh dengan menggunakan skenario yaitu TSS di hulu disesuaikan dengan mutu air kelas II sedangkan beban yang masuk diinput dengan *trial and error* sehingga diperoleh nilai TSS mendekati Baku Mutu. Rekapitulasi perhitungan DTBPA untuk parameter TSS dapat dilihat pada Tabel 22.



Gambar 26 Konsentrasi TSS Pemantauan dengan TSS Model



Gambar 27 Konsentrasi TSS DTBPA dengan TSS DTBPA Model

Tabel 22 Rekapitulasi Perhitungan DTBPA TSS

Segmen		Sub DAS / WPD	Luas (Ha)	BP TSS (kg/hari)	DTBPA TSS (kg/hari)	Penurunan Beban TSS (kg/hari)
Nama	Jarak Dari Hilir (km)					
Head Water	12.4	Sub DAS Pesanggrahan Hulu	1,202.2	689.5	604.8	(84.67)
Segmen 1	12.3	Sub DAS Caringin	1,367.7	46,656.0	46,661.2	5.18
Segmen 1	10.33	WPD Sawangan	149.2	43.7	43.0	(0.65)
Segmen 2	7.81	WPD Meruyung	109.7	218.2	215.1	3.07)
Segmen 3	6.04	WPD Cinangka	85.6	87.2	86.0	1.18)
Segmen 4	1.7	WPD Limo	215.1	1,349.1	1,333.0	16.07)
Segmen 5	0.5	WPD Cinere	131.1	173.9	172,1	(1.76)
Total	12.4		3,260.6	49,217.1	49,115.4	102.21)

### Hasil Uji Model

Model perhitungan daya tampung dengan QUAL2Kw diuji dengan mencari nilai R2 dan RMSE. Koefisien determinasi (R2) hasil pengujian terhadap kualitas air hasil pemodelan dengan eksisting pada parameter BOD, COD dan TSS adalah sebesar 0.99 untuk BOD dan COD serta 0.998 untuk TSS. Nilai tersebut menunjukkan bahwa keeratan hubungan antara nilai konsentrasi BOD, COD dan TSS hasil pemodelan adalah kuat dan perbedaan nilainya sangat kecil. Nilai Konsentrasi BOD, COD dan TSS hasil model memiliki tingkat kesalahan kurang dari 10 % ditunjukkan oleh nilai RMSE sebesar 0.065 untuk BOD, 0.09 untuk COD dan 0.20 untuk TSS. Hasil uji menunjukkan bahwa model kualitas air hasil model cukup teliti untuk memprediksi kualitas air parameter BOD dan COD di Sungai Pesanggrahan, namun dari hasil penelitian ini model kualitas air tidak cukup teliti untuk memprediksi parameter TSS dari kualitas air di Sungai Pesanggrahan.

## Pembahasan Umum

Berdasarkan persentase potensi sumber pencemar, maka di wilayah penelitian dapat diperkirakan besaran beban pencemar dan target penurunan beban menurut sektor penyumbang beban yaitu dari kegiatan rumah tangga, pertanian, peternakan dan sampah. Perkiraan kontribusi aktual ini diperoleh dengan cara menghitung persentase nilai potensi beban pencemar dari masing-masing sumber pencemar yang diperoleh dari hasil analisis spasial dengan beban aktual dari hasil perhitungan model numerik. Perkiraan target penurunan beban diperoleh dengan menghitung persentase potensi beban pencemar dari masing-masing sumber pencemar hasil analisis spasial dikalikan dengan nilai surplus atau minus hasil analisis DTBPA dari hasil perhitungan model numerik.

Penelusuran lokasi jenis sumber pencemar dan besarnya dilakukan dengan analisis spasial berdasarkan kunci keterkaitan dari setiap WPD dengan segmen sungai, dimana setiap WPD akan mempunyai batas yang berimpit dengan segmen sungai, segmen sebagai fungsi *instream* dan WPD sebagai *outstream*. Hal ini merupakan implementasi dari analisis spasial dengan fungsi *overlay* dan *contiguity*. Berdasarkan keterkaitan segmen dengan WPD tersebut dapat diasumsikan persentase target penurunan beban pencemar dari setiap jenis sumber pencemar di setiap WPD adalah sama dengan persentase hasil perhitungan potensi beban pencemar dari setiap jenis kegiatan di setiap WPD. Nilai target penurunan beban per jenis sumber pencemar di setiap WPD dapat ditetapkan dengan mengalikan persentase target penurunan beban pencemar dari setiap jenis sumber pencemar di setiap WPD dengan total beban pencemar di setiap segmen. Selanjutnya persentase % target penurunan beban pencemaran adalah target penurunan beban per jenis sumber pencemar di setiap wilayah WPD dibandingkan total target penurunan beban di seluruh wilayah penelitian

Untuk parameter BOD target total penurunan beban pencemaran adalah 4,268.17 kg/hari, dimana 30.2 % dari rumah tangga, 43.4 % dari pertanian, 24.6 dari peternakan dan 1.8 % dari Sampah. Target penurunan terbesar dibagian hulu adalah pada Sub DAS Caringin yaitu sebesar 4,147.2 kg/hari dimana 28.8 % dari rumah tangga, 42.3 % dari pertanian, 24.3 dari peternakan dan 1.8 % dari Sampah. Hal ini sesuai dengan luas areal Sub DAS Caringin yang merupakan wilayah cukup luas dengan yang memberikan kontribusi beban pencemaran di Sungai Pesanggrahan. Dibagian segmen sungai target penurunan terbesar ada pada segmen empat atau WPD Limo yaitu sebesar 267.8 kg/hari dimana 92 % dari rumah tangga, 3 % dari pertanian dan 6 % dari sampah. Beban pencemaran COD paling banyak berasal dari rumah tangga, hal ini sesuai dengan pengamatan di lapangan dimana pada WPD Limo dijumpai permukiman serta lahan terbuka. Tanaman dan pohon di sepanjang sempadan sungai pada segmen empat atau WPD Limo ini relatif jarang dibandingkan segmen di atasnya. Peta distribusi target penurunan beban pencemaran untuk parameter BOD disajikan pada Gambar 28.

Untuk parameter COD target total penurunan beban pencemaran adalah 26,158.46 kg/hari, dimana 45.3 % dari rumah tangga, 51.9 % dari peternakan dan 2.8 % dari Sampah. Target penurunan terbesar dibagian hulu adalah pada Sub DAS Caringin yaitu sebesar 25,453.4 kg/hari dimana 93 % dari rumah tangga, 2 % dari pertanian, 5 % dari Sampah. Hal ini sesuai dengan luas areal Sub DAS Caringin yang merupakan wilayah cukup luas dengan yang memberikan kontribusi beban pencemaran di Sungai Pesanggrahan. Target penurunan terbesar ada pada segmen empat atau WPD Limo yaitu

sebesar 267.8 kg/hari dimana 92 % dari rumah tangga, 3 % dari pertanian dan 6 % dari sampah. Beban pencemaran COD paling banyak berasal dari rumah tangga, hal ini sesuai dengan pengamatan di lapangan dimana pada WPD Limo dijumpai permukiman serta lahan terbuka. Tanaman dan pohon di sepanjang sempadan sungai pada segmen empat atau WPD Limo ini relatif jarang dibandingkan segmen satu, dua dan tiga di atasnya. Peta distribusi target penurunan beban pencemaran untuk parameter COD disajikan pada Gambar 29.

Untuk parameter TSS target total penurunan beban pencemaran adalah 102.21 kg/hari, dimana 93.2 % dari rumah tangga, 1.2 % dari pertanian dan 5.6 % dari Sampah. Target penurunan terbesar dibagian hulu adalah pada Sub DAS Pesanggrahan Hulu yaitu sebesar 84.7 kg/hari dimana 77.4 % dari rumah tangga, 0.7 % dari pertanian, 4.7 % dari Sampah. Hal ini sesuai dengan luas areal Sub DAS pesanggrahan hulu yang merupakan wilayah terluas yang memberikan kontribusi beban pencemaran di Sungai Pesanggrahan. Dibagian segmen sungai target penurunan terbesar ada pada segmen empat atau WPD Limo yaitu sebesar 16.1 kg/hari dimana 14.4 % dari rumah tangga, 0.4 % dari pertanian dan 0.9 % dari sampah. Beban pencemaran TSS paling banyak berasal dari rumah tangga, hal ini sesuai dengan pengamatan di lapangan dimana pada WPD Limo dijumpai permukiman serta lahan terbuka. Peta distribusi target penurunan beban pencemaran untuk parameter TSS disajikan pada Gambar 30.

Rekapitulasi target penurunan beban pencemaran per parameter dari setiap jenis kegiatan sumber pencemar disajikan pada Tabel 23. Selanjutnya data target penurunan beban pencemaran per parameter menurut wilayah dan jenis pencemar disajikan pada Tabel 24.

Tabel 23 Rekapitulasi Target Penurunan Beban Pencemaran

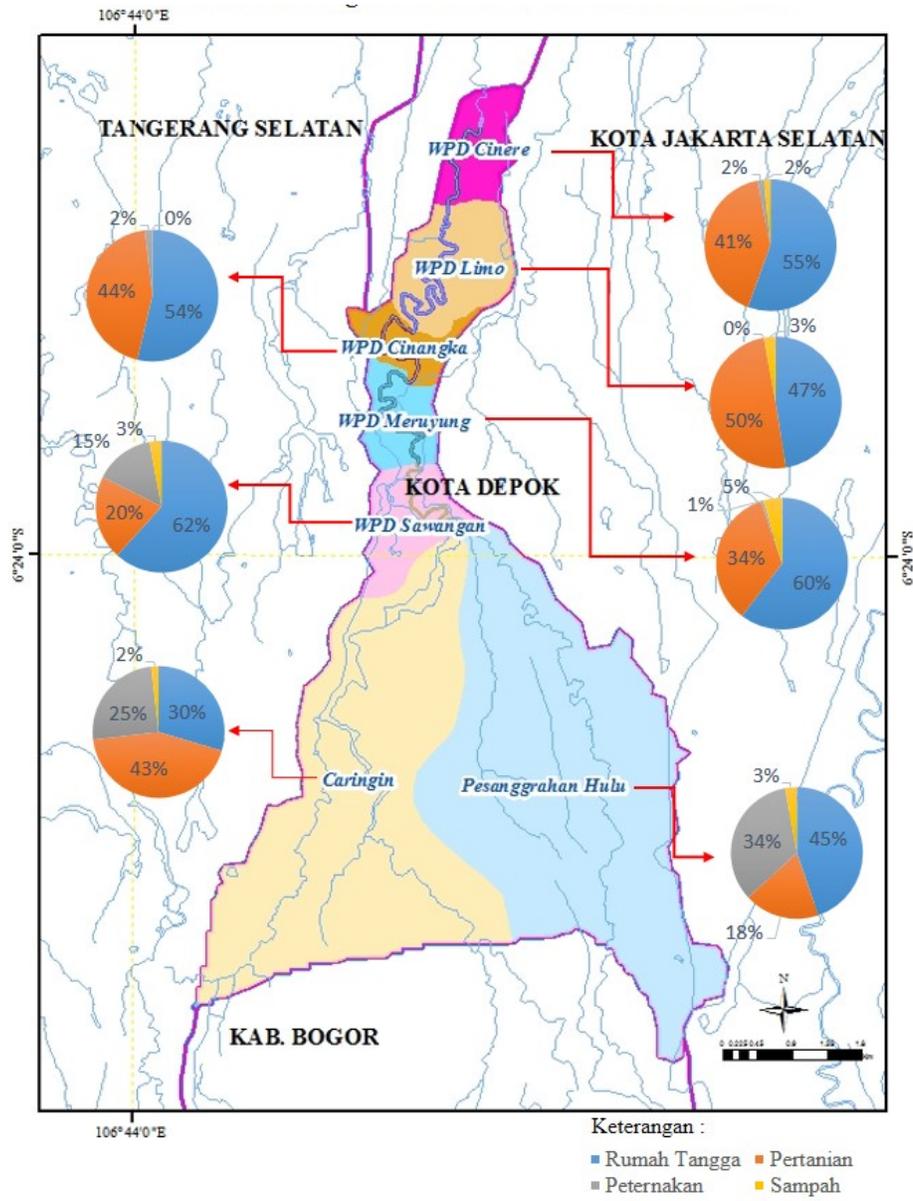
Jenis Sumber Pencemar	Penurunan BOD		Penurunan COD		Penurunan TSS	
	(kg/hari)	%	(kg/hari)	%	(kg/hari)	%
Rumah Tangga	(1,287.19)	30.2%	(11,854.3)	45.3%	(95.3)	93.2%
Pertanian	(1,853.19)	43.4%	-	0.0%	(1.2)	1.2%
Peternakan	(1,049.34)	24.6%	(13,581.5)	51.9%	-	0.0%
Sampah	(78.45)	1.8%	(722.6)	2.8%	(5.8)	5.6%
	(4,268.17)		(26,158.46)		(102.21)	

Tabel 24 Rincian Target Penurunan Beban per WPD

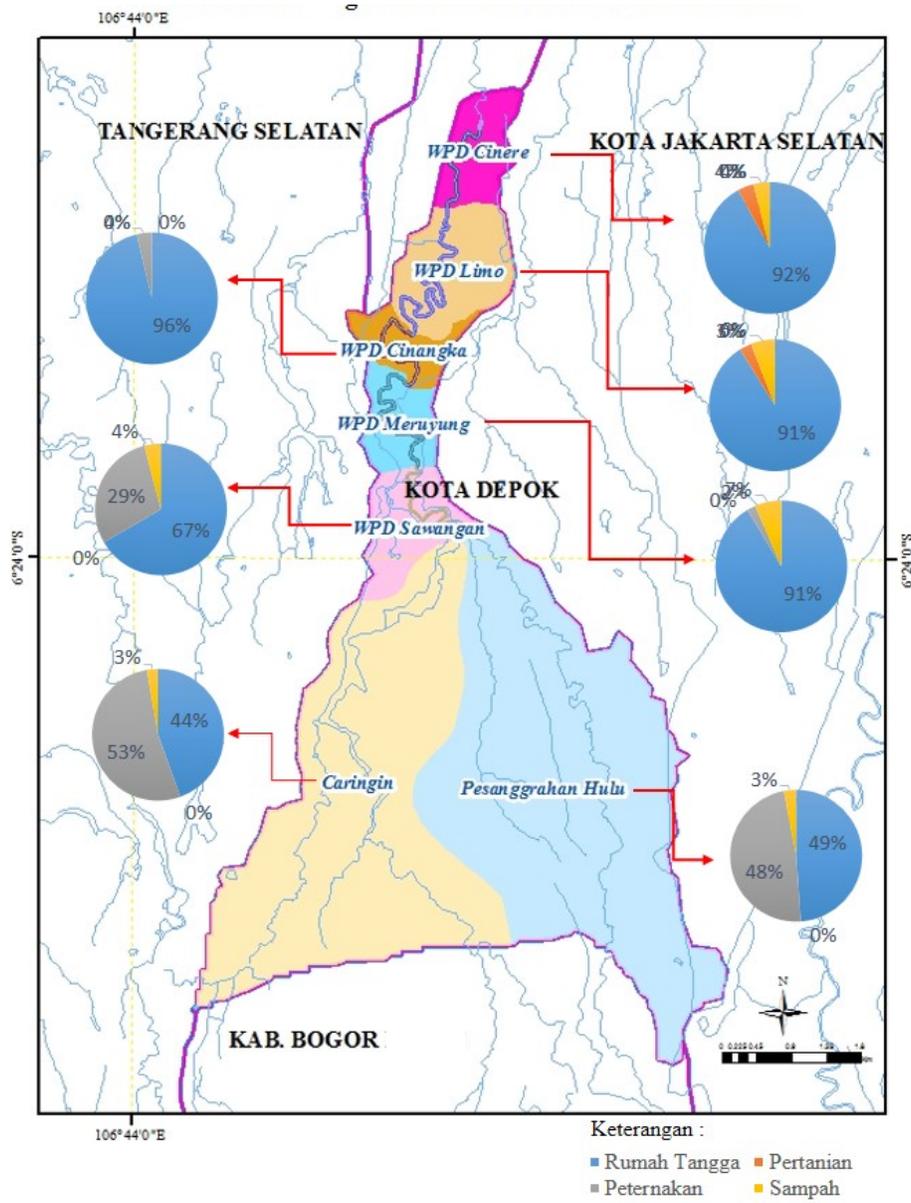
Wilayah dan Jenis Sumber Pencemar	Penurunan BOD			Penurunan COD			Penurunan TSS		
	% Sub Total <sup>1)</sup>	Target (kg/hari) <sup>2)</sup>	% Total <sup>3)</sup>	% Sub Total <sup>1)</sup>	Target (kg/hari) <sup>2)</sup>	% Total <sup>3)</sup>	% Sub Total <sup>1)</sup>	Target (kg/hari) <sup>2)</sup>	% Total <sup>3)</sup>
<b>a. Sub DAS Pesanggrahan Huhu</b>		<b>(31.4)</b>			<b>(302.4)</b>			<b>(84.7)</b>	
Rumah Tangga	45%	(14.1)	0.3%	49%	(147.8)	0.6%	93%	(79.2)	77.4%
Pertanian	18%	(5.8)	0.1%	0%	-	0.0%	1%	(0.7)	0.7%
Peternakan	34%	(10.7)	0.3%	48%	(145.5)	0.6%	0%	-	0.0%
Sampah	3%	(0.9)	0.0%	3%	(9.0)	0.0%	6%	(4.8)	4.7%
<b>b. Sub DAS Caringin</b>		<b>(4,147.2)</b>			<b>(25,453.4)</b>			<b>5.2</b>	
Rumah Tangga	30%	(1,227.3)	28.8%	45%	(11,335.8)	43.3%	93%	4.8	4.7%
Pertanian	44%	(1,807.1)	42.3%	0%	-	0.0%	2%	0.1	0.1%
Peternakan	25%	(1,037.8)	24.3%	53%	(13,425.3)	51.3%	0%	-	0.0%
Sampah	2%	(75.0)	1.8%	3%	(692.3)	2.6%	5%	0.3	0.3%
<b>c. WPD Sawangan</b>		<b>(3.5)</b>			<b>(14.7)</b>			<b>(0.6)</b>	
Rumah Tangga	60%	(2.1)	0.0%	67%	(9.8)	0.0%	94%	(0.6)	0.6%
Pertanian	21%	(0.7)	0.0%	0%	-	0.0%	1%	(0.0)	0.0%
Peternakan	15%	(0.5)	0.0%	29%	(4.3)	0.0%	0%	-	0.0%
Sampah	4%	(0.1)	0.0%	4%	(0.6)	0.0%	6%	(0.0)	0.0%
<b>d. WPD Meruyung</b>		<b>(15.4)</b>			<b>(64.8)</b>			<b>(3.1)</b>	
Rumah Tangga	60%	(9.3)	0.2%	91%	(59.2)	0.2%	92%	(2.8)	2.8%
Pertanian	35%	(5.3)	0.1%	0%	-	0.0%	1%	(0.0)	0.0%
Peternakan	1%	(0.1)	0.0%	2%	(1.4)	0.0%	0%	-	0.0%
Sampah	4%	(0.7)	0.0%	6%	(4.2)	0.0%	7%	(0.2)	0.2%
<b>e. WPD Cinangka</b>		<b>(5.4)</b>			<b>(24.2)</b>			<b>(1.2)</b>	
Rumah Tangga	54%	(2.9)	0.1%	96%	(23.2)	0.1%	97%	(1.1)	1.1%
Pertanian	44%	(2.4)	0.1%	0%	-	0.0%	3%	(0.0)	0.0%
Peternakan	1%	(0.1)	0.0%	4%	(0.9)	0.0%	0%	-	0.0%
Sampah	0%	(0.0)	0.0%	0%	(0.0)	0.0%	0%	(0.0)	0.0%
<b>f. WPD Limo</b>		<b>(58.9)</b>			<b>(267.8)</b>			<b>(16.1)</b>	
Rumah Tangga	47%	(28.0)	0.7%	94%	(252.4)	1.0%	92%	(14.7)	14.4%
Pertanian	50%	(29.2)	0.7%	0%	-	0.0%	3%	(0.4)	0.4%
Peternakan	0%	-	0.0%	0%	-	0.0%	0%	-	0.0%
Sampah	3%	(1.7)	0.0%	6%	(15.4)	0.1%	6%	(0.9)	0.9%
<b>g. WPD Cinere</b>		<b>(6.3)</b>			<b>(31.1)</b>			<b>(1.8)</b>	
Rumah Tangga	55%	(3.5)	0.1%	83%	(25.9)	0.1%	92%	(1.6)	1.6%
Pertanian	42%	(2.6)	0.1%	0%	-	0.0%	4%	(0.1)	0.1%
Peternakan	1%	(0.1)	0.0%	13%	(4.0)	0.0%	0%	-	0.0%
Sampah	2%	(0.1)	0.0%	4%	(1.1)	0.0%	4%	(0.1)	0.1%
<b>Total Target</b>		<b>(4,268.2)</b>	<b>100.0%</b>		<b>(26,158.5)</b>	<b>100.0%</b>		<b>(102.2)</b>	<b>100.0%</b>

Keterangan :

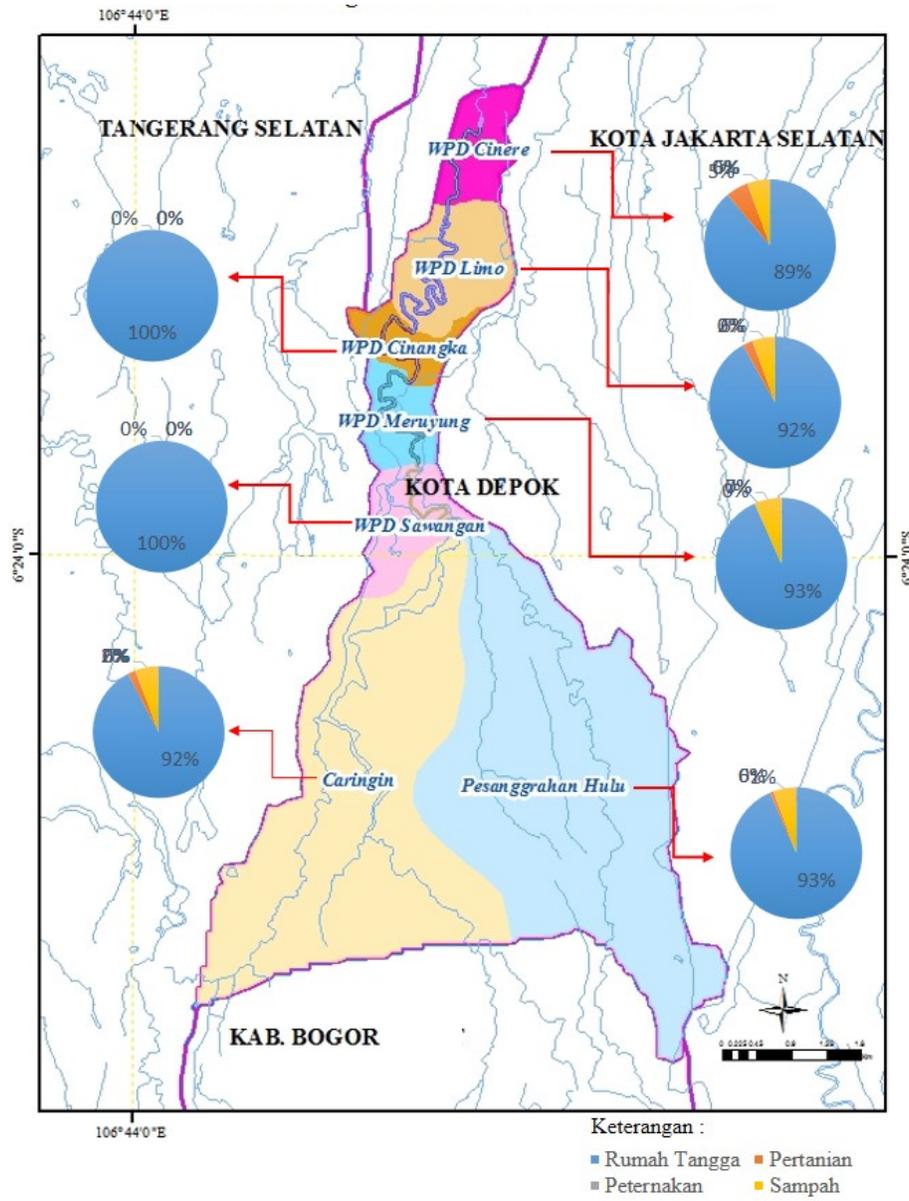
- 1) sama dengan persentase hasil perhitungan potensi beban pencemar dari setiap jenis kegiatan di setiap WPD
- 2) perkalian antara persentase target penurunan beban per jenis sumber pencemar di setiap WPD dikalikan dengan total beban pencemar di setiap segmen terkait.
- 3) target penurunan beban per jenis sumber pencemar di setiap wilayah WPD dibandingkan total target penurunan beban di seluruh wilayah penelitian



Gambar 28 Peta Distribusi Target Penurunan Beban Pencemaran BOD



Gambar 29 Peta Distribusi Target Penurunan Beban Pencemaran COD



Gambar 30 Peta Distribusi Target Penurunan Beban Pencemaran TSS

## 6 SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Penelitian ini telah melakukan identifikasi sumber pencemar berdasarkan wilayah administrasi maupun Sub DAS atau WPD. Secara spasial dapat ditelusuri sumber pencemar yang masuk ke Sungai Pesanggrahan adalah melalui anak sungai dan saluran terbuka dan atau langsung melalui *runoff*. Potensi beban pencemaran bersumber dari limbah rumah tangga, pertanian, peternakan dan sampah. Kontribusi beban pencemaran terbesar berasal dari limbah rumah tangga yang berasal dari Sub DAS Caringin pada bagian hulu dan WPD Limo pada bagian segmen dibawahnya.

Kondisi kualitas air sungai pesanggrahan bervariasi dari cemar ringan hingga cemar sedang. Total beban pencemar di sungai Pesanggrahan sudah melampaui DTBP sehingga perlu penurunan beban pencemar agar kualitas air sungai memenuhi baku mutu kelas II. Total beban pencemar di wilayah penelitian adalah 8,270.42 kg/hari untuk parameter BOD, 59,789.66 kg/hari untuk COD dan 49,217.47 kg/hari untuk TSS. Total daya tampung beban pencemar adalah 4,002.25 kg/hari untuk parameter BOD, 33,631.20 kg/hari untuk COD dan 49,115.26 kg/hari untuk TSS. Total penurunan beban yang harus dilakukan agar kualitas air sungai pesanggrahan memenuhi Baku Mutu Air Sungai Kelas II adalah sebesar 4,268.17 kg/hari untuk BOD, 26,158.46 kg/hari untuk COD dan 102.21 kg/hari untuk TSS.

Hasil perhitungan QUAL2Kw cukup teliti untuk memodelkan kualitas air di Sungai Pesanggrahan. Nilai Konsentrasi BOD, COD dan TSS hasil model memiliki tingkat kesalahan kurang dari 10 % ditunjukkan oleh nilai RMSE sebesar 0.065 untuk BOD, 0.09 untuk COD dan 0.20 untuk TSS. Hasil uji menunjukkan bahwa model kualitas air hasil model cukup teliti untuk memprediksi kualitas air parameter BOD dan COD di Sungai Pesanggrahan, namun dari hasil penelitian ini model kualitas air tidak cukup teliti untuk memprediksi parameter TSS dari kualitas air di Sungai Pesanggrahan.

Model numerik dengan perangkat lunak QUAL2Kw dapat digunakan untuk menghitung Daya Tampung Beban Pencemaran, sedangkan dengan model spasial dengan perangkat lunak SIG dapat digunakan untuk menelusuri keberadaan sumber-sumber pencemar. Integrasi model numerik dan spasial dapat memberikan data dan atau informasi mengenai besaran daya tampung beban pencemaran air sekaligus besaran dan lokasi sumber pencemarnya.

### Saran

1. Perlu disusun program-program penurunan beban pencemar pada sumber pencemar khususnya dibagian hulu Sungai Pesanggrahan agar dapat menurunkan beban pencemar yang terjadi di sungai pesanggrahan, sebagai contoh pembuatan IPAL komunal untuk rumah tangga, pemanfaatan limbah ternak untuk biogas.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan besaran faktor effluent atau emisi dari kegiatan yang lain sehingga perhitungan beban pencemaran dari setiap sumber pencemar dapat dilakukan secara lebih terinci.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut hubungan antara aliran dasar (*base flow*) dan kualitas air khususnya untuk parameter kunci BOD, COD dan TSS.
4. Untuk perhitungan daya tampung beban pencemaran dengan tujuan perencanaan dan pengelolaan kualitas air sungai dalam jangka waktu panjang, harus menggunakan data kualitas air secara seri sepanjang tahun agar diperoleh data yang mencerminkan karakteristik kualitas air sepanjang waktu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdi Z. 2011. Kajian Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Batanghari. Tesis Program Studi Geografi, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Agustiningsih A, Sasongko SB, Sudarno. 2012. Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal, Jurnal Presipitasi vol 9 No.2 September 2012, ISSN 1907-187X.
- Agustira R, Lubis KS, Jamilah. 2013 Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air dan Debit Sungai pada kawasan DAS Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka, Jurnal Online Agroekoteknologi. Vol., 1. No., 3. Juni 2013. ISSN No., 2337-6597.
- Alaerts G, Santika SS. 1984. Metode Pengukuran Kualitas Air. Usaha Nasional, Surabaya.
- Andersen J, Kjaergard B, Schroll H. 2012. Carrying Capacity: An Approach to Local Spasial Planning in Indonesia. The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies vol. 11, no. 1.
- Asdak C. 2002. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Edisi Revisi. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Asdak C. 2010. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Edisi Revisi. Yogyakarta : Gajah Mada University Press
- Baherem. 2014. Strategi Pengelolaan Sungai Berdasarkan Daya Tampung Beban Pencemaran dan Kapasitas Asimilasi, Studi Kasus : Sungai Cibanten Provinsi Banten. Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [BLHD] Badan Lingkungan Hidup Daerah, Status Lingkungan Hidup Daerah, Kota Depok 2014, Depok: BLHD
- Borrough PA, McDonnell RA. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Osford University Press.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Kecamatan Sawangan dalam Angka 2014, Kota Depok: BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Kecamatan Limo dalam Angka 2014, Kota Depok: BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Kecamatan Cinere dalam Angka 2014, Kota Depok : BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Kecamatan Bojongsari dalam Angka 2014, Kota Depok: BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Kecamatan Pancoran Mas dalam Angka 2014, Kota Depok: BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Kecamatan Cipayung dalam Angka 2014, Kota Depok : BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Kecamatan Pamulang dalam Angka 2014, Kota Tangerang Selatan: BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Kecamatan Bojonggede dalam Angka 2014, Kabupaten Bogor: BPS

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. Kecamatan Tajurhalang dalam Angka 2014, Kabupaten Bogor: BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2010. Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035. Jakarta: BPS.
- Borrough PA, McDonnell RA. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Osford University Press.UK.
- Brown LC, Barnwell TO. 1987. The Enhanced Stream Water Quality Models Qual2E and Qual2E-UNCAS. Documentation and User Manual. U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov>.
- Davis, ML, Cornwell DA. 1991. Introduction to Environmental Engineering. Second edition. Mc-Graw-Hill, Inc. New York.
- Dinas PU DKI. 2006. Laporan Studi. [Tidak dipublikasi]. Dinas Pekerjaan Umum DKI.
- Effendi H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Jakarta : Kanisius.
- Eiskhani M, Pauzi A, Karim O, Malakahmad A, Kutty MSR, Isa MH. 2009. GIS based Non pointSource of Pollution Simulation in Cameron Highlands, Malaysia. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Geophysical Engineering. Vol: 3. No:3.
- Fadly NA. 2008. Daya Tampung dan Daya Dukung Sungai Ciliwung Serta Strategi Pengelolaannya. Tesis. Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat.
- Hadi A. 2005. Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan. Jakarta. Gramedia.
- Haining RP. 2003. Spatial Data Analysis, Theory and Practise. United Kingdom. Cambridge University Press.
- Hariyadi S. 2004. BOD dan COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. Makalah Pengantar Falsafah Sains. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor .
- Hariyadi S, Styobudiandi I. 2000. Water Quality and Macrozoobenthic Organisms of Ciliwung River, Bogor. JSPS-DGHE International Sysposium. Vol 10 ISBN: 4-925135-10-4.
- Harris F. 2006. Global Environmental Issues, ISBNs; 0-470-84560-0 (HB);0-470-84561-9 (PB). John Wiley & Sons, Ltd.
- Indarto. 2010. Hidrologi : Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi. Jakarta: PT, Bumi Aksara.
- Irianto EW, Anong S. 1996. Karakteristik Beban Pencemaran Limbah Penduduk di Bandung dan Yogyakarta. Bulletin Pus Air, Media Kegiatan Penelitian Keairan (V) No: 21, 15-35 p.
- Iskandar. 2007. Panduan Pelatihan Pengelolaan Kualitas Air. Puslitbang Sumberdaya Air Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Kannel PR, Kanel SR, Lee S, Lee Y, Gan TY. 2011 A Review of Public Domain Water Quality Models for Simulating Dissolved Oxygen in Rivers and Stream. Environment Model Asses. 2(16):183-204.

- Kannel PR, Lee S, Lee S, Lee Y, Kanel SR, Pelletier GJ. 2007. Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality Modelling and Management in the Bagmati River. Nepal. *Ecological Modelling* 202. Elsevier. Pp.503-517.
- Keraf AS. 2010, *Etika Lingkungan Hidup*, Penerbit Buku Kompas.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2001. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 tahun 2003 tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air pada Sumber Air. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2004. Pengendalian Pencemaran Air, Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2008. Penghitungan Beban Pencemaran Lingkungan Hidup Sungai Ciliwung, Laporan Kegiatan. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2009. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2009. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2009 tentang Pedoman Penentuan Daya Dukung Lingkungan Hidup dalam Penataan Ruang Wilayah. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2010. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2011. Laporan Penghitungan Beban Pencemaran Sungai Ciliwung, Laporan Kegiatan. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. Kajian Daya Tampung Beban Pencemaran Ayung, Laporan Kegiatan Pusat Pengelolaan Ekoregion Bali Nusatenggara.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2013. Kajian Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Barito, Laporan Kegiatan Pusat Pengelolaan Ekoregion Kalimantan.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 110 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Pada Sumber Air. Jakarta: KLH RI.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2013, Kajian Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Barito. Laporan Kegiatan Pusat Pengelolaan Ekoregion Kalimantan.

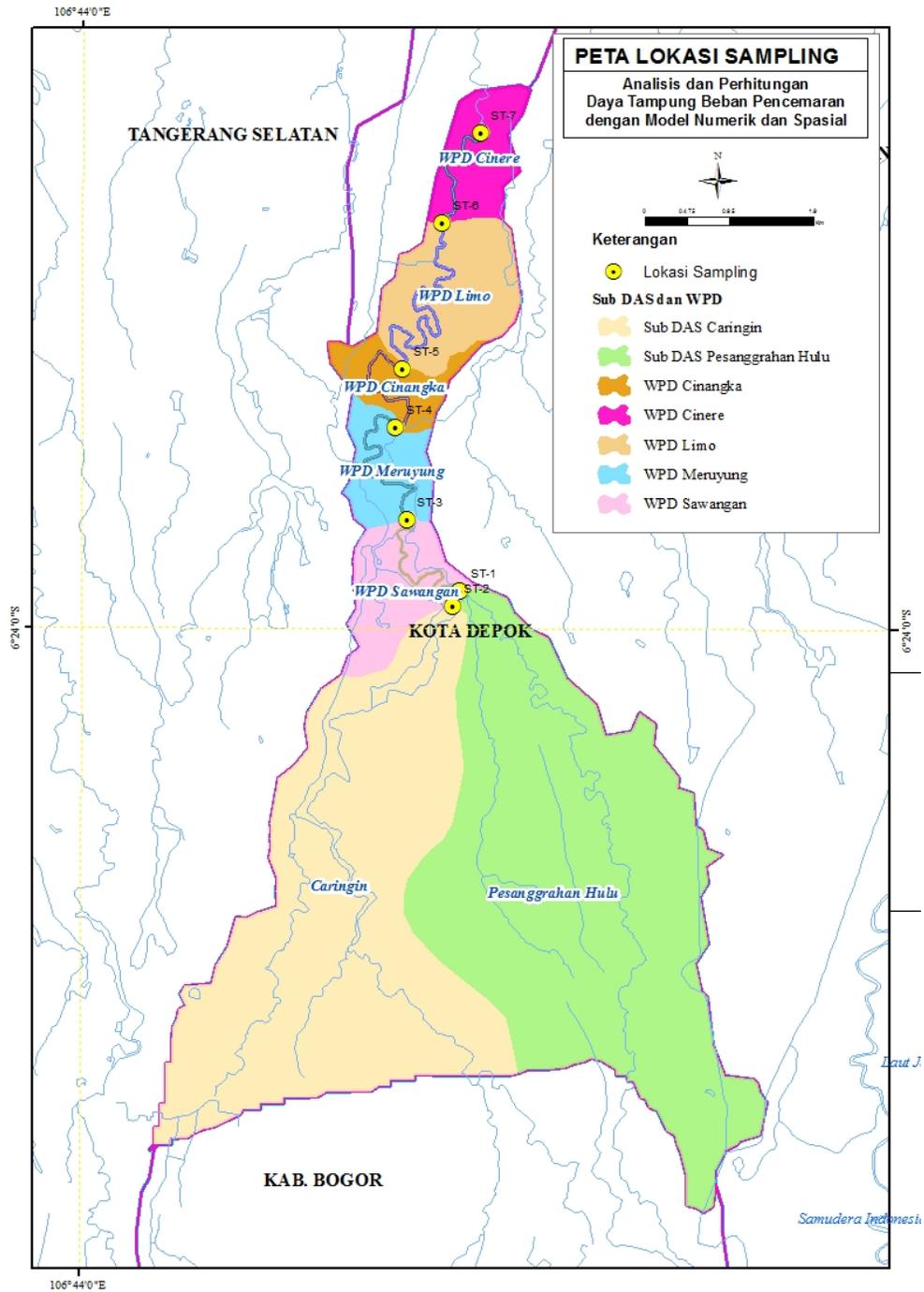
- Kondoatie, Robert J, Sjarief R. 2010. Tata Ruang Untuk Air. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Kurniadi B, Hariyadi S, Adiwilaga EM. 2015. Kualitas Perairan Sungai Buaya di Pulau Bunyu Kalimantan Utara Pada Kondisi Pasang Surut. *JUPI*, Vol. 20 (1):53-58. ISSN 0853-4217.
- Kurniawan B. 2010. Kajian Beban Pencemaran Sungai Cisadane, Provinsi Jawa Barat-Banten. *Laporan Kegiatan*. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kurniawan B. 2013. “Kajian Daya Tampung Beban Pencemar Air untuk Penataan Ruang”. *Buletin Tata Ruang*, Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Mei-Juni 2013.
- Lin C, Huang T, Shaw D. 2009. Applying Water Quality Modeling to Regulating Land Development in a Watershed ( a case study on the Kao-Ping Watershed, Taiwan). *Water Resource Manage* (2010) 24:629-640. doi: 10.1007/s11269-009-9462-x. Taipeh.
- Laumonier Y, Bourgeois R, Pfund JL. 2008. Accounting for the ecological dimension in participatory research and development : lessons learned from Indonesia and Madagaskar. *Ecology and Society* 13(1) : 15
- Mandal P, Upadhyay R, Hasa A. 2010. Seasonal and spasial variation of Yamuna River water quality in Delhi, India. *Environ Monit Assess* 170 (1):661-670. doi:10.1007/s10661-009-1265-2.
- Manurung J. 2014. Kajian Beban Pencemaran dan Daya Tampung beban pencemaran sungai Ciliwung Hulu Segmen Kabupaten Bogor. Skripsi. Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Murijal A. 2012. Penilaian Kualitas Sungai Pesanggrahan dari Bagian Hulu (Bogor, Jawa barat) Hingga Bagian Hilir (Kembangan, DKI Jakarta) Berdasarkan Indeks Biotik. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Departemen Biologi. Universitas Indonesia. Depok.
- Mustapha A, Aris AZ, Juahir H, Ramli MF, Kura NU. 2013. River water quality Assessment using envirometric technique: case study of Jakarta River Basin. *Environ Sci Pollut Res*. Doi:10.1007/s11356-013-1542-z.
- Odum EP. 1998. Dasar-Dasar Ekologi. Tj. Samigan. [Penerjemah]; Srigandono [Editor]. Terjemahan dari: *Fundamental of Ecology*. Edisi Ketiga GajahMada Press. Yogyakarta.
- Pelletier G, Chapra, Hua-Tao, 2005. Qual2KweA framework for modeling water quality in stream and rivers using a genetic algorithm for calibration. *Env. Mod. & Soft. J.* 21. P:419-425
- Raju PLN. 2006. *Fundamentals of Geographical Information System*. <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/paper-6>.
- SNI 03-1733-2004 Tata cara perencanaan lingkungan perumahan di perkotaan.
- Soerianegara I. 1977. *Pengelolaan Sumberdaya Alam, Sekolah Pasca Sarjana, Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* , Institut Pertanian Bogor.

- Soewarno. 1996. Model Penguapan pada Pos Iklim di Pulau Jawa , *Majalah Geografi Indonesia* No 18 Tahun 2010 hal 15-35.
- Suprihatin, Suparno. 2103. *Teknologi Proses Pengolahan Air, Untuk Mahasiswa dan Praktisi Industri*. PT Penerbit IPB Press. Bogor.
- Sudadi SD, Baskoro PT, Munibah K, Barus, Darmawan. 1991. Kajian Penggunaan Lahan Terhadap Aliran Sungai dan Penurunan Kualitas Lahan di Sub-DAS Ciliwung Hulu dengan Pendekatan Model Simulasi Hidrologi. *Laporan Penelitian*. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Suriawiria U. 2005. *Air dalam Kehidupan dan Lingkungan yang Sehat*. P.T. Alumni, Bandung.
- Sutamiharja RTM. 1978. *Kualitas dan Pencemaran Lingkungan*. Pasca Sarjana Jurusan Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, IPB. Bogor.
- Undang-undang Republik Indonesia No 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang.
- [UNEP] United Nations Environment Program. 1992. *Rio Declaration on Environment and Development*. United Nations Publication.
- Wang Q, Li S, Jia P, Qi C, Ding F. 2013. A Review of Surface Water Quality Models. Hindawi Publishing Corporation. *The Scientific Word Jurnal*. Volume 2013. Article ID 231768. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/231768>.
- Widyastuti M, Marfai MA 2004. Kajian Daya Tampung Sungai Gajahwong Terhadap Beban Pencemaran. *Majalah Geografi Indonesia* Vol 18 no 2. p88. Yogyakarta.
- Yusuf IA. 2009. Pemulihan Kualitas Air Sungai Ciliwung Menggunakan Model Kualitas Air, *JDSA* Volume 5, Nomor 2, November 2009, Puslitbang Sumberdaya Air, Bandung.
- Yudo S. 2010. Kondisi Kualitas Air Sungai Ciliwung di Wilayah DKI Jakarta Ditinjau dari parameter organik, Amoniak, Fosfat , deterjen dan Bakteri Coli, *JAI* Vol 6. No 1. 2010, Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengpenelitian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Jakarta.

Lampiran 1 Matrik Luas Penggunaan Lahan

Wilayah Kabupaten / Kota dan Jenis Penggunaan Lahan	Luas Penggunaan Lahan Berdasarkan Sub DAS atau Wilayah Pengaliran Drainase (Ha)										Total Luas	
	Sub DAS Caringin	Sub DAS Pesanggrahan Hulu	WPS Sawangan	WPS Meruyung	WPS Cinangka	WPS Lino	WPS Cinere					
<b>KABUPATEN BOGOR</b>	398.16	166.79									0.31	565.26
1 Kebun/Perkebunan	102.78	75.19										177.97
2 Permukiman	113.66	37.86										151.51
3 Rumput/Tanah kosong	11.44	0.90										12.35
4 Sawah Irigasi	15.95	1.27										17.21
5 Sawah Tadah Hujan	21.33										0.31	21.64
6 Tegalan/Ladang	133.01	51.57										184.58
<b>KOTA DEPOK</b>	804.03	1,200.91	149.19	109.74	85.62	215.05	84.35	2,648.89				2.81
1 Air Tawar	1.46	0.39	0.97									
2 Gedung		0.08	0.05		0.09	0.08					0.05	0.36
3 Kebun/Perkebunan	64.74	260.13	19.95	17.22	7.53	10.24					0.99	380.81
4 Permukiman	238.52	411.76	67.35	36.08	24.71	55.43					29.53	863.37
5 Rumput/Tanah kosong	0.01	33.41	0.23			7.56					4.00	45.20
6 Sawah Irigasi		0.00										0.00
7 Tegalan/Ladang	499.30	495.14	60.65	56.44	53.29	141.75	49.78	1,356.33				
<b>KOTA TANGERANG SELATAN</b>						0.02	46.41	46.43				
1 Permukiman							10.17	10.17				
2 Rumput/Tanah kosong						0.02	27.52	27.54				
3 Tegalan/Ladang							8.72	8.72				
<b>Total Luas</b>	<b>1,202.19</b>	<b>1,367.69</b>	<b>149.19</b>	<b>109.74</b>	<b>85.62</b>	<b>215.07</b>	<b>131.07</b>	<b>3,260.57</b>				

## Lampiran 2 Peta Lokasi Sampling



## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Yogyakarta pada tanggal 29 Mei 1969 sebagai anak ke 3 dari pasangan H. Iwa Rusmana dan Ene Halimah. Pendidikan sarjana ditempuh di Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Lulus pada tahun 1996. Pada tahun 2011 Penulis diterima di Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan pada Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Penulis sebelumnya pernah bekerja di salah satu Perusahaan Teknologi Informasi dan Komunikasi di Jakarta. Hingga saat ini penulis bekerja di salah satu perusahaan konsultan lingkungan di Jakarta.