

**KAJIAN KUALITAS AIR SUNGAI BAWAH TANAH PADA DAERAH
IMBUHAN DAN DAERAH PENGOLAHAN AIR GOA BRIBIN,
KABUPATEN GUNUNG KIDUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**
(STUDI KASUS PENGUJIAN KEKERUHAN, BAKTERI *E. COLI*, DAN *TOTAL COLIFORM* PADA INSTALASI
PENGOLAHAN AIR SARINGAN PASIR LAMBAT – *INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT PROJECT*)

SKRIPSI



diajukan oleh
Muhammad Pramudita Hardhito Nugraha
114100048 / TL

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2016**

SKRIPSI

**KAJIAN KUALITAS AIR SUNGAI BAWAH TANAH PADA DAERAH
IMBUHAN DAN DAERAH PENGOLAHAN AIR GOA BRIBIN,
KABUPATEN GUNUNG KIDUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
(STUDI KASUS PENGUJIAN KEKERUHAN, BAKTERI *E. COLI*, DAN *TOTAL COLIFORM*
PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR SARINGAN PASIR LAMBAT – *INTEGRATED
WATER RESOURCES MANAGEMENT PROJECT*)**

Disusun oleh:

Muhammad Pramudita Hardhito Nugraha
114.100.048/TL

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Pada Tanggal 22 Maret 2016

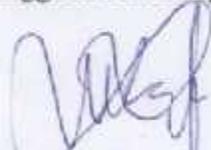
Susunan Tim Penguji

Pembimbing I



Ir. Suharwanto, MT.

Anggota Tim Penguji

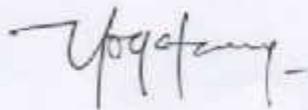


Herwin Lukito, S.T., M.Si.

Pembimbing II



Ir. Puji Pratiknyo, MT



Ekha Yogafanny, S.Si., M.Eng.

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Strata – I

Yogyakarta, Maret 2016
Ketua Program Studi

Dr. Ir. Andi Sungkowo, M.Si.

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT. berkat Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini dari awal hingga akhir selama kurang lebih enam bulan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program Strata-1 (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

Terselesainya skripsi ini tidak lepas dari dorongan dan bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Andi Sungkowo, M.Si. selaku ketua Program Studi Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Yogyakarta
2. Bapak Ir. Suharwanto, MT. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Puji Pratiknyo, MT. selaku dosen pembimbing II.
3. Bapak Herwin Lukito selaku penguji I dan Ibu Ekha Yogafanny, S.Si, M.Sc. selaku penguji II atas masukannya kepada penulis
4. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Lingkungan yang telah membantu penulis.
5. Kedua orang tua penulis, Bapak Nunung Nugroho dan Ibu Ida Nursanti atas motivasi serta dukungan moril dan materil.
6. Rekan-rekan Program Studi Teknik Lingkungan angkatan 2010.

Semoga penelitian yang telah dilakukan ini dapat bermanfaat untuk berbagai pihak, terutama bagi pemerintah dan masyarakat setempat di daerah penelitian agar menjadi masukan untuk pembangunan wilayahnya. Serta bagi Program Studi Teknik Lingkungan agar dapat menjadi acuan bagi mahasiswa dalam melaksanakan

penelitian berikutnya. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan usulan penelitian untuk skripsi ini sehingga masukan yang membangun sangat diharapkan bagi penulis.

Yogyakarta, Oktober 2015

Penulis

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Pramudita Hardhito Nugraha

NIM : 114100048

Judul Skripsi : **KAJIAN KUALITAS AIR SUNGAI BAWAH TANAH
PADA DAERAH IMBUHAN DAN DAERAH
PENGOLAHAN AIR GOA BRIBIN, KABUPATEN
GUNUNG KIDUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
(STUDI KASUS PENGUJIAN KEKERUHAN, BAKTERI *E.
COLI*, DAN *TOTAL COLIFORM* PADA INSTALASI
PENGOLAHAN AIR SARINGAN PASIR LAMBAT –
INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT)**

Program Studi : Teknik Lingkungan

Fakultas : Teknologi Mineral

Perguruan Tinggi : Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Yogyakarta, Oktober 2015

Yang membuat pernyataan



(Muhammad Pramudita H N)
NIM. 114100048

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR PETA	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
INTISARI	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.1.1. Perumusan Masalah.....	2
1.1.2. Keaslian Penelitian.....	4
1.2. Maksud, Tujuan dan Manfaat Penelitian	8
1.2.1. Maksud Penelitian	8
1.2.2. Tujuan Penelitian.....	8
1.2.3. Manfaat Penelitian.....	9
1.3. Peraturan	9
1.4. Tinjauan Pustaka.....	10
1.4.1. Air.....	10
1.4.2. Kualitas Air	11
1.4.2.1. Parameter Fisik	11
1.4.2.2. Parameter Kimia	14
1.4.2.3. Parameter Biologi	16
1.4.3. Hidrologi Karst.....	17
1.4.4. Hidrokimia Airtanah	21
1.4.5. Saringan Pasir Lambat	22
1.4.5.1. Sejarah.....	22
1.4.5.2. Teori Saringan Pasir Lambat	23
1.4.5.3. Pengoperasian & Pemeliharaan	26
1.4.5.4. Mekanisme Pengurangan Bakteri	31
1.4.5.5. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Retensi Bakteri Patogen Dalam Filter	38
1.5. Lingkup Daerah Penelitian	46
1.5.1. Lokasi, Letak, Luas, dan Kesampaian Daerah Penelitian	46
1.5.1.1. Lokasi dan Letak serta Luas Daerah Penelitian	46
1.5.1.2. Kesampaian Daerah Penelitian	46
1.5.2. Batas Wilayah Penelitian.....	47
1.5.2.1. Batas Ekologis	47

1.5.2.2. Batas Ekosistem.....	48
BAB II. RUANG LINGKUP PENELITIAN	49
2.1. Lingkup Kegiatan Penelitian	49
2.1.1. Jenis Kegiatan Penelitian.....	49
2.1.2. Komponen Lingkungan	51
2.2. Kerangka Alur Pikir Penelitian.....	52
BAB III. CARA PENELITIAN	54
3.1. Jenis Metode Penelitian dan Parameter yang Digunakan	54
3.2. Teknik Sampling dan Penentuan Lokasi Sampling	56
3.3. Perlengkapan Penelitian.....	56
3.4. Tahapan Penelitian	59
3.4.1. Tahap Persiapan	61
3.4.2. Tahap Kerja Lapangan	62
3.4.2.1. Pemetaan Satuan Batuan & Penggunaan Lahan.....	63
3.4.2.2. Pengambilan Sampel Untuk Uji Kualitas Air.....	64
3.4.3. Tahap Laboratorium	65
3.4.4. Tahap Kerja Studio	66
3.4.4.1. Kerja Untuk Sajian Pada Rona Lingkungan Hidup.....	66
3.4.4.2. Kerja Untuk Sajian Evaluasi Hasil Penelitian	67
3.4.4.3. Kerja Untuk Sajian Arahana Pengelolaan	67
BAB IV. RONA LINGKUNGAN HIDUP	68
4.1. Komponen Geofisik-Kimia	68
4.1.1. Iklim dan Curah Hujan	68
4.1.1.1. Curah Hujan	68
4.1.1.2. Tipe Iklim dan Kelas Iklim	72
4.1.2. Bentuklahan	75
4.1.3. Tanah	73
4.1.4. Satuan Batuan	74
4.1.5. Tata Air	74
4.1.5.1. Sistem Sungai Bawah Tanah	75
4.1.5.2. Instalasi Pengolahan Air Saringan Pasir Lambat Kaligoro	77
4.5.2.2.1. Dimensi	78
4.5.2.2.2. Komponen Filter	79
4.1.6. Bencana Alam	81
4.2. Komponen Biotis	81
4.2.1. Flora	81
4.2.2. Fauna	84
4.3. Komponen Sosial	84
4.3.1. Kondisi Kependudukan (Demografi)	85
4.3.2. Sosial Ekonomi	85
4.3.3. Sosial Budaya	88
4.3.4. Kesehatan Masyarakat	89
4.3.5. Penggunaan Lahan	89

BAB V. EVALUASI HASIL PENELITIAN	91
5.1. Kualitas Air Daerah Imbuhan dan Penolahan	91
5.2. Kualitas Air Hasil Monitoring Saringan Pasir Lambat Kaligoro	93
5.2.1. Hasil Monitoring Kualitas Air SSF Pada Parameter Turbidity	93
5.2.2. Hasil Monitoring Kualitas Air SSF Pada Parameter <i>T. Coliform</i>	97
5.2.3. Hasil Monitoring Kualitas Air SSF Pada Parameter <i>E. Coli</i>	100
5.3. Efisiensi Hasil Monitoring Kualitas Air SSF	102
BAB VI. ARAHAN PENGELOLAAN.....	104
6.1. Arahan Konservasi Daerah Imbuhan Dan Pengolahan Aliran Sungai Bawah Tanah Bribin Dan Daerah Karst	104
6.2. Arahan Pengelolaan Instalasi Pengolahan Air Aliran Sungai Bawah Tanah Bribin	106
BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN	116
7.1. Kesimpulan	116
7.2. Saran	118
PERISTILAHAN	119
DAFTAR PUSTAKA	121

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Halaman

1.1. Tinjauan Penelitian Sebelumnya	5
1.2. Peraturan Perundang-undangan.....	9
1.3. Kriteria Desain Untuk Slow Sand Filter	24
1.4. Perbandingan Tipe Desain dan Mode Operasi Dari Intermittent Slow Sand Filtration (SSF _i) dan Continuous Slow Sand Filtration (SSF _c)	31
1.5. Performa Pengolahan Dari Saringan Pasir Lambat Konvensional.....	32
2.1. Komponen Lingkungan yang Terkait dengan Lingkup Kegiatan Penelitian	51
3.1. Parameter yang Akan Digunakan Dalam Penelitian	55
3.2. Perlengkapan Penelitian, Kegunaan, dan Hasil yang Didapat	57
3.3. Parameter, Jenis Data, Sumber Data, Dan Instansi Terkait	62
3.4. Jadwal Monitoring Kualitas Air Saringan Pasir Lambat.....	64
4.1. Jumlah dan Rata-rata Curah Hujan Bulanan 2004-2013	69
4.2. Jumlah dan Rata-rata Bulan Kering dan Bulan Basah	71
4.3. Klasifikasi Iklim Schmidt-Fergusson.....	71
4.4. Jenis Tanaman Di Daerah Penelitian	83
4.5. Jenis Hewan di Daerah Peneltian	84
4.6. Fasilitas Pendidikan Kecamatan Semanu	86
4.7. Mata Pencaharian Pokok Penduduk Kecamatan Semanu	87
4.8. Beberapa Jenis Fauna yang Hidup di Daerah Penelitian	89
5.1. Data Hasil Sampling Air Pada Daerah Imbuhan dan Pengolahan Goa Bribin.....	91
5.2. Data Monitoring Turbidity SSF Kaligoro	93
5.3. Data Monitoring Bakteri <i>Total Coliform</i> SSF Kaligoro	97
5.4. Data Monitoring Bakteri <i>E. Coli</i> SSF Kaligoro	101
6.1. Kedalaman Saringan Pasir Lambat	107
6.2. Gradasi Butir Media Pasir	108

DAFTAR GAMBAR

Halaman

1.1. Hidrologi Karst	20
1.2. Diagram Saringan Pasir Lambat.....	25
1.3. Hubungan Antara Ukuran Butir dan Ukuran Pori.....	40
2.1. Kerangka Alur Pikir Penelitian	53
3.1. Perlengkapan Penelitian	58
3.2. Tahapan Penelitian	60
3.3. Perlengkapan Laboratorium	65
3.4. <i>Quanty Tray</i>	66
4.1. Grafik rerata Curah Hujan Bulanan 2004-2013.....	70
4.2. Kondisi Bentuklahan Aktual.....	73
4.3. Tanah Litosol Hasil Dari Pelapukan Batugamping	73
4.4. Peta Perkiraan Daerah Tangkapan Sungai Bribin Sebaran Goa dan Sistem Jaringan Sungainya	76
4.5. Instalasi Pengolahan Air Saringan Pasir Lambat Kaligoro	77
4.6. Komponen Instalasi Pengolahan Air Saringan Pasir Lambat.....	78
4.7. Flora yang Berada di Daerah Penelitian	82
4.8. Beberapa Jenis Flora yang Tumbuh di Daerah Penelitian	83
4.9. Beberapa Jenis Fauna yang Hidup di Daerah Penelitian	84
4.10. Salah Satu Mata Pencaharian Pada Daerah Penelitian	87
4.11. Sarana Umum	88
4.12. Sarana Kesehatan	89
5.1. Grafik Monitoring <i>Turbidity</i> Saringan Pasir Lambat Kaligoro	95
5.2. Skema Sistem Saringan Pasir Lambat Kaligoro	96
5.3. Grafik Monitoring <i>Total Coliform</i> Saringan Pasir Lambat Kaligoro.....	100
5.4. Grafik Monitoring <i>E. Coli</i> Saringan Pasir Lambat Kaligoro	103
6.1. Sistem Otomatisasi.....	106
6.2. Instalasi Saringan Pasir Lambat	109
6.3. Instalasi Saringan Pasir Lambat	110
6.4. Sistem Underdrain Saringan Pasir Lambat	111
6.5. Bak Alat Pencuci Pasir	114
6.6. Alat Pencuci Pasir Tipe Manual.....	115

DAFTAR PETA

	Halaman
1.1 Peta Administrasi, Topografi, dan Batas Wilayah Penelitian	24
4.1. Peta Satuan Bentuklahan dan Kemiringan Lereng	79
4.2. Peta Jenis Tanah Daerah Penelitian	83
4.3. Peta Ketebalan Tanah.....	86
4.4. Peta Potensi Kembang Kerut Tanah.....	90
4.5. Peta Satuan Batuan.....	104
4.6. Peta Arah Aliran Air Bawah Permukaan Tanah	110
4.7. Peta Kedalaman Muka Airtanah	111
4.8. Peta Jarak Permukiman terhadap Jalur Sesar dan Sempadan Sungai	117
4.9. Peta Potensi Banjir	118
4.10. Peta Penggunaan Lahan Aktual.....	128
4.11. Peta Lintasan Pemetaan dan Titik Lokasi Pengambilan Sampel.....	129
5.1. Peta Satuan Lahan	132
5.2. Peta Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Permukiman.....	136
5.3. Peta Tingkat Kemampuan Lahan untuk Pertanian	147
6.1. Peta Arah Pemanfaatan Lahan untuk Kawasan Permukiman dan Pertanian.....	160

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil Uji Laboratorium Parameter Kembang Kerut Tanah (Indeks COLE)	174
Lampiran 2. Hasil Uji Laboratorium Parameter Permeabilitas Tanah	176
Lampiran 3. Tabel Kriteria dan Indikator Parameter Kesesuaian Lahan untuk Permukiman dan Kemampuan Lahan untuk Pertanian	177

**KAJIAN KUALITAS AIR SUNGAI BAWAH TANAH PADA DAERAH
IMBUHAN DAN DAERAH PENGOLAHAN AIR GOA BRIBIN,
KABUPATEN GUNUNG KIDUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**
(STUDI KASUS PENGUJIAN KEKERUHAN, BAKTERI *E. COLI*, DAN *TOTAL COLIFORM* PADA INSTALASI
PENGOLAHAN AIR SARINGAN PASIR LAMBAT – *INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT PROJECT*)

Oleh :
Muhammad Pramudita Hardhito Nugraha
114100048

INTISARI

Pemanfaatan sumber air Bribin menjadi solusi pemenuhan kebutuhan air di daerah Gunung Kidul. Perlu dilakukan pengolahan menggunakan Saringan Pasir Lambat sebagai metode tepat guna (Silva, 2010). Tujuan dari penelitian ini adalah : (1) Mengetahui kualitas air sungai bawah tanah berdasarkan pengujian parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform* di daerah imbuhan Goa Bribin dan di inlet penyaringan Saringan Pasir Lambat. (2) Mengetahui kualitas air sungai bawah tanah, hasil pengolahan air dengan Saringan Pasir Lambat, untuk pengujian parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform*, berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang baku mutu kualitas air minum. (3) Mengetahui efisiensi pengolahan air Sungai Bawah Tanah Goa Bribin berdasarkan parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform* dengan menggunakan Saringan Pasir Lambat serta analisisnya ditinjau dari jenis media pasir yang digunakan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survey, analisis laboratorium, dan analisis kuantitatif-deskriptif. Metode pengambilan sampel yang digunakan yaitu *purposive sampling*.

Dari hasil penelitian, kualitas air sungai bawah tanah pada daerah imbuhan Goa Bribin dan di inlet penyaringan saringan pasir lambat untuk parameter kekeruhan adalah 23.44 NTU & 11.6 NTU, untuk parameter bakteri *E. Coli* adalah 130 CFU/100ml & >2419.6 CFU/100ml, dan untuk parameter bakteri *Total Coliform* adalah 362 CFU/100ml & >2419.6 CFU/100ml. Kualitas air hasil pengolahan menggunakan Saringan Pasir Lambat Kaligoro untuk pengujian dengan parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform* adalah sebagai berikut: Efisiensi penyaringan kekeruhan 10,75 % - 93,06 % ; *E. Coli* 4,88 % - 87,8 % ; *Total Coliform* 7,46 % - 78,54 %. Dimana terdapat nilai efisiensi minus. Nilai minus ini menunjukkan bahwa ada beberapa nilai yang tidak efisien yang disebabkan oleh *human eror*. Dari hasil kegiatan monitoring kualitas air menggunakan saringan pasir lambat dapat dilihat bahwa efisiensi Saringan Pasir Lambat Kaligoro tidak tercapai atau tidak dapat ditarik kesimpulan. Sehingga perlu diadakannya penelitian lanjutan terkait dengan efisiensi Saringan Pasir Lambat Kaligoro ini.

Kata Kunci: Kualitas Air, Sungai Bawah Tanah, Saringan Pasir Lambat, Monitoring.

STUDY ON WATER QUALITY IN THE UNDERGROUND RIVER WATER IN RECHARGE AND REGIONAL WATER TREATMENT AREA GOA BRIBIN, GUNUNG KIDUL REGENCY, SPECIAL DISTRICT OF YOGYAKARTA
(CASE STUDY TESTING TURBIDITY, *E. COLI* BACTERIA AND *TOTAL COLIFORM* IN WATER TREATMENT PLANT SLOW SAND FILTRATION - INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT PROJECT)

By :
Muhammad Pramudita Hardhito Nugraha
114100048

ABSTRACT

Utilization of water resources Bribin be a solution meeting water needs in Gunung Kidul. It is necessary for processing using the Slow Sand Filter regarded as appropriate processing method for Gunung Kidul (Silva, 2010). This study was conducted aimed at: (1) Knowing the underground river water quality by testing turbidity, bacteria *E. Coli* and Total Coliform in the recharge area Goa Bribin and in inlet filtration Slow Sand Filter. (2) Knowing the underground river water quality, water treatment outcome with Slow Sand Filter, for testing turbidity, bacteria *E. Coli* and Total Coliform, based on the Ministry of Health No. 492 / Menkes / PER / IV / 2010 concerning quality standards drinking water. (3) Determine the efficiency of water treatment Underground River Goa Bribin based turbidity, bacteria *E. Coli* and Total Coliform using Slow Sand Filter and its analysis in terms of the type of sand used media.

The method used in this research is the survey method, laboratory analysis, and quantitative-descriptive analysis. The sampling method used is purposive sampling.

From the research, the underground river water quality in the recharge area Goa Bribin in inlet filtration and slow sand filter for turbidity is 23,44 NTU and 11,6 NTU, for the parameters *E. coli* bacteria was 130 CFU / 100 ml and > 2419.6 CFU / 100ml, and for Total Coliform bacteria parameter is 362 CFU / 100 ml and > 2419.6 CFU / 100ml. Water quality processing results using Slow Sand Filter Kaligoro for testing the turbidity, bacteria *E. Coli* and Total Coliform are as follows: Efficiency Filtration of Turbidity 10.75% - 93.06%; *E. Coli* 4.88% - 87.8%; Total Coliform 7.46% - 78.54%. Where there is minus value of efficiency. Minus value of this shows that there are some values that are not efficient due to human error. From the results of water quality monitoring activities using slow sand filter can be seen that Kaligoro Slow Sand Filter efficiency is not achieved or can not be deduced. So that needs further research related to the holding of the efficiency of this Kaligoro Slow Sand Filter

Keywords: Water Quality, Underground River, Slow Sand Filter, Monitoring.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan utama manusia dimana pemanfaatannya semakin meningkat dari waktu ke waktu. Semakin meningkatnya perekonomian masyarakat, konsumsi air juga semakin meningkat. Air juga sangat penting tidak hanya untuk kebutuhan manusia tetapi juga untuk kebutuhan seluruh makhluk hidup. Air yang dikonsumsi untuk masyarakat bisa didapatkan dari air permukaan ataupun airtanah. Kelangkaan air dapat menyebabkan terganggunya kehidupan makhluk hidup itu sendiri (USGS, 2010). Di beberapa daerah di dunia, terdapat daerah-daerah yang mengalami kelangkaan air bersih, khususnya di negara berkembang (IWRM, 2009). Salah satu contohnya terjadi di daerah Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia, dimana air bersih di daerah ini cukup sulit didapatkan (Evani, 2004).

Gunung Kidul merupakan daerah dengan topografi karst yang terbentuk dari proses pelarutan batugamping. Daerah karst ini merupakan bagian dari Pegunungan Sewu dimana formasi karst terdiri dari batuan karbonat yang memiliki kelarutan dan tingkat laju infiltrasi yang tinggi. Air hujan yang jatuh di permukaan akan langsung meresap kedalam tanah dan membentuk sungai-sungai bawah tanah. Hal ini menyebabkan sulitnya mendapatkan air bersih di permukaan terutama saat musim kemarau. Namun demikian, karena karakteristik batuan karst yang unik, ketersediaan air bawah tanah sangat berlimpah, dengan kualitas air yang relatif baik pada musim kemarau namun relative menurun kualitasnya pada musim penghujan. Penurunan kualitas air bawah tanah tersebut disebabkan oleh terbawanya material dari

permukaan ke sungai bawah tanah melalui ponor-ponor yang ada sehingga menyebabkan nilai kekeruhan atau turbiditas, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform* meningkat. Dengan potensi cadangan air bawah tanah yang besar di daerah karst, masyarakat dapat memanfaatkan air ini dengan menggunakan teknologi tepat guna (Nestmann *et al.*, 2011).

Nestmann menjelaskan bahwa cadangan air bawah tanah Gunung Kidul yang sangat melimpah dapat dimanfaatkan dengan menggunakan teknologi tepat guna, dimana air dari sungai bawah tanah diangkat ke permukaan menggunakan pompa dan diintegrasikan dengan turbin sehingga dapat menghasilkan listrik. Setelah air sungai bawah tanah dipompa naik ke permukaan, air tersebut tidak dapat digunakan langsung oleh masyarakat melainkan harus diolah terlebih dahulu (Silva, 2010). Oleh karena itu, Silva (2010) menemukan bahwa proses penyaringan dengan sistem saringan pasir lambat merupakan sistem yang paling tepat untuk daerah Gunung Kidul. Sistem ini dipilih dengan mempertimbangkan aspek efektifitas pengolahan, biaya, dan kemudahan dalam pengoperasiannya. Silva (2010) dalam penelitiannya membuktikan bahwa sistem ini dapat menurunkan kekeruhan hingga 99 %. Selain itu, Yogafanny (2011) juga membuktikan bahwa dengan saringan pasir lambat, kandungan bakteri *Total Coliform* menurun hingga 99,998 % dan *E. Coli* menurun hingga 99,999 %.

1.1.1 Perumusan Masalah

Daerah penelitian berada di Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Dimana pada daerah ini telah dibangun media penyaringan pasir lambat sebagai sarana untuk meningkatkan kualitas air yang disediakan oleh sistem pasokan air Bribin. Setelah pembangunan media penyaringan selesai pada akhir Mei 2014, filter akan dioperasikan.

Karakteristik hidrogeologi karst terhadap kualitas air bawah tanah pada daerah karst memiliki hubungan logis karena lokasinya pada daerah karst Gunung Kidul sehingga air yang sudah masuk di daerah imbuhan menunjukkan adanya perubahan kualitas air dalam perjalanannya menuju ke daerah inlet pengolahan air. Dari gambaran ini penulis dapat merumuskan masalah yaitu :

- 1) Bagaimana kualitas air sungai bawah tanah berdasarkan pengujian parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform* di daerah imbuhan Goa Bribin dan di inlet penyaringan Saringan Pasir Lambat, serta faktor apa sajakah yang menyebabkan adanya perubahan kualitas air baku daerah imbuhan ke inlet penyaringan?

Sebagai bagian dari program pemantauan saringan pasir lambat, sampel air harus diambil secara berkala untuk menilai kinerja dari saringan pasir lambat tersebut terhadap penurunan tingkat kekeruhan, bakteri *E. Coli* dan *Total Coliform* serta kesesuaiannya dengan standar baku mutu kualitas air minum yang ditetapkan oleh pemerintah. Efisiensi pengolahan air dengan saringan pasir lambat terhadap penurunan tingkat kekeruhan dan penurunan bakteri *E. Coli* dan *Total Coliform* akan dinilai berdasarkan jenis media pasir yang digunakan seperti d_{10} & Cu, selain itu HLR dan mode operasi juga akan dipertimbangkan dalam analisis kinerja saringan pasir lambat ini. Dari gambaran ini penulis dapat merumuskan masalah sebagai berikut :

- 2) Bagaimana kualitas air sungai bawah tanah, hasil pengolahan air dengan Saringan Pasir Lambat, untuk pengujian parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform*, berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan

Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang baku mutu kualitas air minum?

3) Bagaimana efisiensi pengolahan air Sungai Bawah Tanah Goa Bribin berdasarkan parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform* dengan menggunakan Saringan Pasir Lambat serta analisisnya ditinjau dari jenis media pasir yang digunakan?

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **Kajian Kualitas Air Sungai Bawah Tanah Pada Daerah Imbuhan Dan Daerah Pengolahan Air Goa Bribin, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Studi Kasus Pengujian Kekeruhan, Bakteri *E. Coli*, Dan *Total Coliform* Pada Instalasi Pengolahan Air Saringan Pasir Lambat – *Integrated Water Resources Management Project*).**

1.1.2 Keaslian Penelitian

Topik penelitian yang akan dilakukan adalah mengenai kualitas air pada sungai bawah tanah di daerah imbuhan dan daerah pengolahan. Penelitian dengan topik serupa yaitu mengenai kualitas air dan proses filtrasi saringan pasir lambat pernah diteliti oleh peneliti lainnya, tetapi ada perbedaan baik judul, tujuan, lokasi penelitian, metode yang digunakan, maupun hasil penelitian. Tabel keaslian penelitian dapat dilihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1. Tinjauan Penelitian Sebelumnya

No.	Peneliti & Tahun Penelitian	Jenis Penelitian	Lokasi	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1.	Ekha Yogafanny (2011)	Tesis, Penelitian Magister Program Resource Engineering Department Of Civil Engineering, Geo- & Environmental Sciences Karlsruhe Institute Technology German	Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta	Evaluating Bacteria Removal Potential by Slow Sand Filtration Effects of Rhine and Lava Sand and Operation Mode	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk memastikan apakah filtrasi pasir lambat dapat digunakan untuk mengurangi kandungan bakteri dari air baku. 2. Menganalisis efek dari media filter (tipe pasir dan distribusi ukuran butir) dan kondisi operasi (mode intermittent dan laju filtrasi) terhadap pengurangan kandungan bakteri dalam air baku. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Studi Literatur 2. Analisis Lab 	<ol style="list-style-type: none"> a. Saringan pasir lambat dipercaya sebagai proses penyaringan yang dapat meningkatkan kualitas mikrobiologikal air. b. Slow Sand Filtration dapat menurunkan kandungan bakteri sebesar 1.6 - 4.7 log-units atau 97.7 - 99.998% pada Total Coliform dan 1.6 - 5 log-units atau 97.6 - 99.999% pada E. Coli.
2.	Adriana Marcela Silva Alvarez (2010)	Tesis, Penelitian Magister Program Resource Engineering Department Of Civil Engineering, Geo- & Environmental Sciences Karlsruhe Institute Technology German	Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta	A Suitable Filtration Process for a Centralized Water Treatment in Gunung Kidul-Indonesia and Influence of Selected Process Variables on Treatment Performance	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menentukan proses filtrasi yang cocok yang mampu memenuhi tujuan dari konsep pengolahan air IWRM. 2. Memastikan apakah air baku dengan komposisi yang mirip pada goa, dapat diolah dengan teknik yang disarankan. 3. Mengidentifikasi pengaruh variabel proses yang dipilih (media penyaringan, laju filtrasi, dan mode operasi) pada efisiensi pengolahan dari filter. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analisis Kualitatif 2. Analisis Konseptual 3. Tes Laboratorium 	<ol style="list-style-type: none"> a. Saringan pasir lambat menjadi proses filtrasi yang paling cocok untuk daerah Gunung Kidul b. Range penurunan kekeruhan air 40 - 99 % untuk setiap tingkat kekeruhan influen.

Lanjutan Tabel 1.1

No.	Peneliti & Tahun Penelitian	Jenis Penelitian	Lokasi	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
3.	Arie Purwanto (2013)	Skripsi Fakultas Geografi UGM-Yogyakarta	Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta	Analisis Hidrokemogaf Air Tanah Karst Sistem Sungai Bawah Bribin Kabupaten Gunung Kidul	Menganalisis variasi unsur-unsur kimia air Sungai Bawah Tanah Bribin terhadap variasi musim dan besaran debit.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode purposive sampling 2. Analisa hidrograf, kemograf, deskriptif 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menunjukkan variasi kimia air tanah pada musim kemarau dan musim penghujan. 2. Pada musim penghujan konsentrasi zat terlarut <i>kalsium</i> (Ca^{2+}) dan <i>bikarbonat</i> 3. (HCO_3^-) di daerah imbuhan, hulu, hilir dan bocoran mengalami penurunan berbandi terbalik dengan besarnya debit aliran, begitupula dengan nilai DHL 4. Pada musim kemarau penurunan debit aliran menyebabkan terjadi peningkatan nilai DHL dan konsentrasi zat terlarut <i>kalsium</i> (Ca^{2+}) dan <i>bikarbonat</i> 5. (HCO_3^-) pada Sungai Bawah Tanah Bribin
4.	Titis Wisnuwati (2013)	Skripsi Fakultas Geografi UGM-Yogyakarta	Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta	Evaluasi Kualitas Air Sungai Bawah Tanah Seropan Sebagai Sumber Air Minum Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Sub Sistem Seropan Kabupaten Gunung Kidul	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui kesesuaian kualitas air minum yang didistribusikan oleh PDAM Sub Sistem Seropan dengan baku mutu air minum berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No. 907/ MENKES/ SK/ VII/ 2002 terutama pada musim penghujan 2. Mengetahui kualitas air dari sungai bawah tanah seropan sebagai sumber utama hingga pipa-pipa pelanggan PDAM terutama pada musim penghujan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode <i>Purposive Sampling</i> 2. Analisis grafik, kualitatif, dan keruangan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Air musim penghujan PDAM Sub Sistem Seropan masih ada yang melewati baku mutu air minum menurut Keputusan Menteri Kesehatan No. 907/ MENKES/ SK/ VII/ 2002 yaitu warna, kekeruhan, dan bakteri E. Coli. 2. Kualitas air dari sumber utama Sungai Bawah Tanah Seropan hingga sambungan rumah saat musim penghujan mengalami perubahan yang bervariasi. 3. Kenaikan dan penurunan reaksi kimia masih di bawah ambang batas dan tidak mempengaruhi reaksi kimia selama proses distribusi melalui pipa-pipa

Lanjutan Tabel 1.1

No.	Peneliti & Tahun Penelitian	Jenis Penelitian	Lokasi	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
5.	Rohmawati Ghufriyah (2008)	Skripsi Teknik Lingkungan Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta	Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta	Kajian Faktor Lingkungan Dan Pengelolaan Ekosistem Karst Untuk Pelestarian Potensi Sungai Bawah Tanah (Studi Kasus : Kali Suci Di Kecamatan Semanu Kabupaten Gunung Kidul, DIY)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui potensi air meteorik di wilayah kajian serta perbedaan debit Kali Suci antara musim hujan dan musim kemarau. 2. Mengetahui pengaruh faktor lingkungan terhadap distribusi air meteorik ke jaringan sungai bawah tanah. 3. Mengetahui pengelolaan lingkungan yang dapat dilakukan untuk melestarikan potensi sungai bawah tanah. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode Survey 2. Metode Pemetaan 3. Analisis Laboratorium 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adanya penurunan debit di kali suci ditunjukkan pada pengukuran yang dilakukan pada musim kemarau adalah sebesar 164 liter/detik sedangkan pada musim hujan adalah sebesar 480 liter/detik. 2. Adanya penambahan debit kearah hilir menunjukkan adanya peran <i>authigenic water</i> pada kelestarian potensi sungai bawah tanah.
6.	Mustaqim (2012)	Skripsi Teknik Lingkungan Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta	Padukuhan Tambakbayan, Desa Caturtunggal, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta	Analisis Hubungan Pertambahan Penduduk Terhadap Peningkatan Bakteri <i>E.coli</i> Dan <i>Fecal Coliform</i> Pada Air Tanah Dangkal Di Sekitar Kawasan Padukuhan Tambakbayan Desa Caturtunggal Kecamatan Depok Kabupaten Sleman Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dapat mengetahui pertambahan jumlah bakteri <i>E.Coli</i> dan <i>Fecal Coliform</i> pada airtanah dengan pertambahan jumlah penduduk. 2. Dapat memetakan dan menganalisis daerah rawan pencemaran akibat bakteri <i>E.Coli</i> dan <i>Fecal Coliform</i>. 3. Dapat memberikan arahan pengelolaan lingkungan kepada masyarakat sekitar lokasi penelitian. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode Survey 2. Metode Pemetaan 3. Metode Analisis Laboratorium 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lokasi pertama di belakang STTNas dengan kandungan bakteri <i>E.Coli</i> sebesar 200/100 ml dan <i>Fecal Coliform</i> 940/100 ml 2. Lokasi kedua berada pada Perumahan dosen UPN Tambakbayan dengan kandungan <i>E.Coli</i> sebesar 1600/100 ml dan <i>Fecal Coliform</i> sebesar 1600/100 ml.

1.2. Maksud, Tujuan, dan Manfaat yang Diharapkan

1.2.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah:

- 1) Mengetahui kualitas air sungai bawah tanah pada daerah imbuhan Goa Bribin dan di inlet penyaringan Saringan Pasir Lambat.
- 2) Mengetahui peningkatan kualitas air baku dan efisiensi dari proses penyaringan pasir lambat.

1.2.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Mengetahui kualitas air sungai bawah tanah berdasarkan pengujian parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform* di daerah imbuhan Goa Bribin dan di inlet penyaringan Saringan Pasir Lambat.
- 2) Mengetahui kualitas air sungai bawah tanah, hasil pengolahan air dengan Saringan Pasir Lambat, untuk pengujian parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform*, berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang baku mutu kualitas air minum.
- 3) Mengetahui efisiensi pengolahan air Sungai Bawah Tanah Goa Bribin berdasarkan parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform* dengan menggunakan Saringan Pasir Lambat serta analisisnya ditinjau dari jenis media pasir yang digunakan.

1.2.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai:

- 1) Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan bagi penulis maupun pembaca.
- 2) Dapat memberikan informasi kepada pemerintah dan masyarakat mengenai kualitas air sungai bawah tanah.
- 3) Dapat memberikan arahan pengelolaan pada zona imbuhan dan instalasi Saringan Pasir Lambat untuk meningkatkan kualitas air sungai bawah tanah.

1.3 Peraturan

Peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan penelitian ini disajikan pada tabel 1.2.

Tabel 1.2. Peraturan Perundang-undangan

No	Peraturan	Kaitan peraturan dengan penelitian
1.	Undang-Undang Republik Indonesia a. UU RI Nomor 32 Tahun 2009 tentang <i>Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup</i>	Dalam Undang-undang ini mengatur mengenai perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang bertujuan untuk melindungi wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia dari pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup sehingga dapat menjamin kelangsungan kehidupan makhluk hidup dan kelestarian ekosistem serta menjaga kelestarian fungsi lingkungan hidup.
	b. UU RI Nomor 7 Tahun 2004 Tentang <i>Sumber Daya Air</i>	Dalam Undang-undang ini mengatur tentang pengelolaan sumber daya air dengan memperhatikan fungsi sosial, lingkungan hidup dan ekonomi secara selaras .
2.	Peraturan Pemerintah a. Peraturan Pemerintah RI Nomor 16 tahun 2005 tentang <i>Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.</i>	Dalam peraturan pemerintah ini mengatur tentang peraturan pengembangan sistem penyediaan air minum bagi masyarakat.
	b. Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 tahun 2001 tentang <i>Pengelolaan Kualitas Air Dan</i>	Dalam peraturan pemerintah ini mengatur tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air secara bijaksana

No.	Peraturan	Kaitan peraturan dengan penelitian
	<i>Pengendalian Pencemaran Air.</i> c. Peraturan Pemerintah RI Nomor 42 tahun 2008 tentang <i>Pengelolaan Sumber Daya Air.</i>	dengan memperhatikan kepentingan generasi sekarang dan mendatang serta keseimbangan ekologis untuk melestarikan fungsi air. Dalam peraturan pemerintah ini mengatur tentang pengelolaan sumber daya air
3.	Keputusan Presiden Republik Indonesia a. Keputusan Presiden RI Nomor 6 Tahun 2009 tentang <i>Pembentukan Dewan Sumber Daya Air Nasional.</i>	Mengatur tentang ketentuan mengenai tugas, fungsi, dan tata kerja Dewan SDA Nasional mengikuti ketentuan peraturan perundang-undangan tentang Dewan Sumber Daya Air.
4.	Peraturan Menteri Negara a. Peraturan Menteri Kesehatan RI No.492/MENKES/PER/IV/2010 tentang <i>Persyaratan Kualitas Air Minum.</i> b. Peraturan Menteri Kesehatan RI No.907/MENKES/SK/VII/2002 tentang <i>Syarat-Syarat Dan Pengawasan Kualitas Air Minum.</i>	Mengatur tentang persyaratan kesehatan kualitas air minum agar air minum yang dikonsumsi masyarakat tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Dalam permen ini mengatur tentang pengawasan kualitas air minum yang dikonsumsi masyarakat dalam rangka meningkatkan derajat kesehatan masyarakat.
5.	Peraturan Daerah a. Peraturan Daerah Kota Yogyakarta No. 9 Tahun 1995 tentang <i>Pengawasan Kualitas Air.</i>	Dalam peraturan daerah ini mengatur, membina, dan mengawasi pelaksanaan penggunaan air dalam rangka memelihara dan meningkatkan derajat kesehatan masyarakat serta mencegah penurunan kualitas dan penggunaan air yang dapat membahayakan kesehatan serta meningkatkan kualitas air.

1.4 Tinjauan Pustaka

1.4.1 Air

Air adalah zat cair yang tidak mempunyai rasa, warna dan bau, yang terdiri dari hidrogen dan oksigen dengan rumus kimiawi H₂O. Karena air merupakan suatu larutan yang hampir-hampir bersifat universal, maka zat-zat yang paling alamiah maupun buatan manusia

hingga tingkat tertentu terlarut di dalamnya. Dengan demikian, air di dalam mengandung zat-zat terlarut. Zat-zat ini sering disebut pencemar yang terdapat dalam air (Linsley, 1991).

1.4.2 Kualitas Air

Kualitas Air adalah istilah yang menggambarkan kesesuaian atau kecocokan air untuk penggunaan tertentu, misalnya: air minum, perikanan, pengairan/irigasi, industri, rekreasi dan sebagainya. Peduli kualitas air adalah mengetahui kondisi air untuk menjamin keamanan dan kelestarian dalam penggunaannya. Kualitas air dapat diketahui dengan melakukan pengujian tertentu terhadap air tersebut. Pengujian yang biasa dilakukan adalah uji kimia, fisik, biologi atau uji kenampakan (bau dan warna) (ICRF, 2010).

Parameter kualitas air bersih ataupun air minum yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 terdiri dari parameter fisik, parameter kimia, parameter radioaktif dan parameter mikrobiologi. Parameter tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

1.4.2.1 Parameter Fisik

Parameter fisik yang harus dipenuhi pada air minum adalah tidak berbau, jernih, tidak berasa, suhu sebaiknya sejuk, tidak panas dan tidak berwarna. Apabila kondisi air tidak sesuai dengan ciri tersebut, menunjukkan bahwa air tersebut telah terkontaminasi oleh bahan lain yang mungkin berbahaya bagi kesehatan manusia (Achmadi, 2001).

- Suhu

Suhu air merupakan hal penting jika dikaitkan dengan tujuan penggunaan, pengolahan untuk membuang bahan-bahan pencemar. Suhu yang diinginkan adalah $10^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$, iklim, kedalaman pipa-pipa saluran air, dan jenis dari sumber air mempengaruhi suhu air. Suhu air akan mempengaruhi secara langsung toksisitas banyak bahan kimia pencemar, pertumbuhan mikroorganisme, dan virus.

- Warna

Air yang berwarna dapat ditimbulkan akibat adanya jenis-jenis tertentu bahan organik yang terlarut dan koloid yang terbilas dari tanah atau tumbuhan yang membusuk. Sedangkan kalsium karbonat yang berasal dari daerah berkapur menimbulkan warna kehijauan pada perairan.

- Rasa dan Bau

Air minum yang berbau selain tidak estetik juga tidak akan disukai oleh masyarakat. Air minum sebaiknya tidak berasa dan tidak berbau. Rasa dari air disebabkan oleh adanya garam-garam atau unsur-unsur kimia dalam air yang terdapat secara berlebihan. Sedangkan bau pada air disebabkan oleh gas-gas tertentu di dalam air dalam jumlah yang cukup tinggi.

- Kekeruhan

Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut (misalnya lumpur

dan pasir halus) maupun bahan anorganik dan organik yang berupa plankton dan mikroorganisme lain (APHA, 1976; Davis dan Cornwell, 1991, dalam Effendi, 2003). Air hujan sebagai *agent* merupakan factor yang sangat penting dalam pelarutan. Tanah yang berada di permukaan akan masuk melewati ponor-ponor, sehingga dapat memberi kontribusi terhadap bahan tersuspensi maupun terlarut relative lebih tinggi (Wijayanti, 2001 dalam Haryono, 2004).

Kekeruhan dalam air dihubungkan dengan kemungkinan pencemaran dengan air buangan. Air yang mengandung pencemaran tinggi akan sukar disaring dan mengakibatkan biaya pengolahan menjadi tinggi. Selain itu kekeruhan air dapat menyebabkan hambatan bagi proses disinfeksi. Oleh sebab itu kekeruhan air harus dihilangkan dari air yang akan digunakan untuk air minum.

Bahan-bahan yang mudah diendapkan dapat dihilangkan dengan proses pengendapan (sedimentasi) dan filtrasi, sedangkan bahan-bahan yang sulit dihilangkan (*koloidal*) hanya dapat dihilangkan dengan proses flokulasi dan koagulasi yang diikuti dengan proses sedimentasi dan filtrasi, dimana diperlukan penambahan bahan kimia (koagulan) kedalam air dan dilakukan proses secara mikrobiologis. (Haryono, 2004)

- Jumlah Zat Pada Terlarut (*Total Dissolve Solid* atau TDS)

TDS biasanya terdiri atas zat organik, garam anorganik, dan gas terlarut. Bila TDS bertambah maka kesadahan akan naikpula. Selanjutnya, efek TDS ataupun kesadahan terhadap kesehatan tergantung pada spesies kimia penyebab masalah tersebut (Slamet, 2002).

Analisis zat padat dalam air sangat penting bagi penentuan komponen-komponen air secara lengkap, juga untuk perencanaan serta pengawasan proses-proses pengolahan dalam bidang air minum maupun dalam bidang air buangan (Alaerts dan Santika, 1987).

1.4.2.2 Parameter Kimia

Wijayanti, dkk (dalam Haryono, dkk., 2004) dijelaskan bahwa respon debit, zat terlarut serta tersuspensi yang berbeda setiap bulannya sangat tergantung pada curah hujan. Pada permunculan air dengan saluran rongga maka kontak air dengan batuan relatif cepat sehingga menyebabkan ion-ion yang terlarut dalam batuan menjadi kecil. Sehingga dalam penelitian ini tidak semua sifat kimia dianalisis, melainkan hanya unsur-unsur tertentu, yakni pH, kesadahan, Klorida (Cl^-), Sulfat (SO_4^-), dan Nitrat (NO_3^-), dan Besi (Fe). Secara lebih jelasnya sebagai berikut:

- Derajat Keasaman (pH)

Menurut Sutrisno (1987) pH merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan intensitas keadaan asam atau basa sesuatu larutan. pH merupakan factor yang harus dipertimbangkan karena derajat keasaman air mempengaruhi aktivitas pengolahan yang akan dilakukan

misalnya koagulasi kimiawi, disinfeksi, perlunakan air dan dalam pencegahan korosi.

Tinggi rendahnya pH pada air tidak berpengaruh pada kesehatan, akan tetapi untuk air dengan pH lebih kecil dari 6,5 akan menyebabkan korosi pada metal yang melarutkan unsur-unsur timbal, tembaga, kadmium yang bersifat beracun. Demikian pula jika pH lebih besar dari 8,5 dapat membentuk endapan (kerak) pada pipa air yang terbuat dari metal (Sudadi, 2003).

- Kesadahan

Kesadahan perairan berasal dari kontak air dengan tanah dan bebatuan. Kesadahan (*hardness*) merupakan gambaran kation divalent (valensi dua). Kation-kation tersebut dapat bereaksi dengan sabun membentuk endapan maupun dengan anion-anion yang terdapat dalam air membentuk endapan maupun dengan anion-anion yang terdapat dalam air membentuk endapan atau karat dalam peralatan logam.

- Clorida (Cl^-)

Konsentrasi 250 mg/l unsur tersebut dalam air merupakan batas maksimal konsentrasi yang dapat mengakibatkan timbulnya rasa asin dan dapat merusak pipa-pipa air, dalam jumlah kecil dibutuhkan untuk disinfeksi.

- Sulfat (SO_4^{2-})

Sulfur merupakan salah satu elemen yang esensial bagi makhluk hidup karena merupakan elemen penting dalam

protoplasma. Sulfat merupakan salah satu bentuk sulfur anorganik yang merupakan bentuk sulfur utama di perairan dan tanah. Jumlah MgSO_4 yang tidak terlalu besar sudah dapat menimbulkan diare. Adanya sulfat dalam perairan merupakan indikator pencemaran yang sumbernya berasal dari limbah.

- Nitrat (NO_3^-)

Adanya nitrat dan nitrit dalam air berkaitan dengan siklus Nitrogen. Jumlah nitrat yang besar dalam usus cenderung untuk berubah menjadi nitrit, yang dapat bereaksi langsung dengan hemoglobin dalam darah membentuk methaemoglobin yang dapat menghalangi perjalanan oksigen di dalam tubuh.

- Besi (Fe)

Konsentrasi unsur ini dalam air yang melebihi ± 2 mg/l akan menimbulkan noda noda pada peralatan dan bahan-bahan yang berwarna putih. Adanya unsur ini dapat menimbulkan bau dan warna pada air minum dan warna koloid pada air. Selain itu, konsentrasi yang lebih besar dari 1mg/l dapat menyebabkan warna air menjadi kemerah-merahan, memberi rasa yang tidak enak pada minuman.

1.4.2.3 Parameter Biologi

Kurangnya jumlah ketersediaan air dan buruknya kualitas air menjadi dua permasalahan utama pada negara berkembang. Tidak semua sumber daya air seperti sungai, danau dan air tanah dapat digunakan

sebagai kebutuhan manusia ditinjau dari kualitas air tersebut. Dimana buruknya kualitas air dapat menyebabkan penyakit yang dapat ditularkan melalui air (WHO, 2008).

Secara umum tercemarnya air oleh mikroba disebabkan oleh air yang terkontaminasi oleh kotoran manusia atau hewan. Dimana feses dapat menjadi sumber dari bakteri pathogen, virus, protozoa, dan cacing. Oleh karena itu sangatlah penting tidak hanya untuk mencegah tercemarnya air dari kontaminan tersebut tetapi juga memastikan tidak adanya kandungan mikroba didalam air, terutama air minum (WHO, 2008).

1.4.3 Hidrologi Karst

Hidrologi merupakan salah satu cabang dalam geografi yang mengkaji tentang air di permukaan bumi terjadinya, peredaran dan agihannya, sifat-sifat kimia dan fisiknya, dan reaksi dengan lingkungannya, termasuk hubungannya dengan makhluk-makhluk hidup (Seyhan, 1995). Sedangkan karst sendiri merupakan kawasan yang mempunyai karakteristik relief dan drainase yang khas, terutama disebabkan oleh derajat pelarutan batuan-batuannya dalam air, yang lebih tinggi dari tempat lain.

Istilah Karst berasal dari Bahasa Jerman yaitu Kras. Kras adalah suatu kawasan batugamping dengan bentuk bentang alam yang khas di Slovenia yang menyebar hingga ke Italia. Kawasan tersebut kemudian menjadi lokasi tipe (*type locality*) bentuk bentang alam karst (Milanovic,

1981). Jennings (1971) menjelaskan bahwa karst adalah suatu kawasan yang mempunyai karakteristik relief dan drainase yang khas, terutama disebabkan oleh derajat pelarutan batuan-batuannya dalam air, yang lebih tinggi dari tempat lain. Karst sebagai medan dengan karakteristik hidrologi dan bentuk lahan yang diakibatkan oleh kombinasi dari batuan mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik (Ford & Williams, 1992).

Kondisi hidrologis di daerah karst dicirikan dengan minimnya sungai permukaan dan berkembangnya sungai-sungai bawah tanah. Minimnya sungai permukaan ini dikarenakan batuan karbonat mempunyai percelahan yang cukup banyak, sehingga air terus menuju kebawah permukaan dan menjadi sistem drainase bawah permukaan. Air dipermukaan hanya bias dijumpai pada permunculan mata air atau pada genangan di *doline-doline*. Sedangkan air yang berkembang di bawah permukaan dapat dijumpai pada lorong-lorong bawah tanah atau yang sering disebut gua dalam bentuk sungai-sungai genangan dan tetesan.

Hujan merupakan salah satu proses dalam rangkaian siklus hidrologi, yang mempunyai intensitas yang bervariasi menurut ruang dan waktu. Kondisi iklim mencakup ketersediaan curah hujan yang sedang hingga tinggi, yang bersamaan dengan temperatur yang tinggi. Kondisi semacam ini menyebabkan proses pelarutan, akibat dari adanya variabilitas besaran curah hujan yang jatuh di kawasan karst menjadi berlangsung secara variatif. Selain proses pelarutan yang dominan di kawasan karst, yang mengalami intensitas yang bervariasi, kondisi hujan akan menyebabkan kondisi kualitas airtanah yang berbeda pula.

Batugamping yang memiliki sifat porositas dan permeabilitas yang tinggi akifer proses tektonik dan pelarutan merupakan suatu akifer produktif di kawasan karst. Model proses karstifikasi yang dikendalikan oleh rekahan, membentuk jaringan sungai bawah tanah (Denny Juanda P., 2006).

Aliran airtanah dalam sistem akifer karst mengalir pada jaringan rekahan tetapi pada beberapa observasi di kawasan Karst Gunung Kidul, aliran airtanah memiliki ciri kombinasi, yaitu mengalir pada akifer pelapukan batugamping dan pada akifer rekahan batugamping. (Denny Juanda P., 1998). Air pada sungai bawah tanah di daerah karst dapat disebut sebagai airtanah merujuk definisi oleh Todd (1980), bahwa airtanah merupakan air yang mengisi celah atau pori-pori antar batuan dan bersifat dinamis. Sedangkan, air bawah tanah karst juga merupakan air yang mengisi batuan atau percelahan yang banyak terdapat pada kawasan tersebut, walaupun karakteristiknya sangat berbeda dibandingkan dengan karakteristik airtanah pada kawasan lain (Haryono dan Adji, 2004). Istilah yang terkait dengan perlapisan geologi dan mempunyai peranan penting bagi ketersediaan airtanah adalah akuifer.

Ada berbagai formasi geologi yang dapat berfungsi sebagai akuifer, salah satunya batugamping. Batugamping mempunyai variasi yang besar dalam densitas, kesarangan, dan kelulusan. Lubang-lubang di batuan gamping dapat terbentuk dalam ukuran mikroskopis hingga gua-gua dan sungai bawah tanah (Purnama, 2004). Akuifer karst di perbukitan Pegunungan Sewu membentuk akuifer bebas karena bagian atasnya tidak

tertutupi lapisan kedap (Marwanta dan Prawiradisastra, 2002). Berikut ini merupakan gambaran kondisi hidrologi wilayah karst.



Gambar 1.1 Hidrologi Karst

(www.esi.utexas.edu/outreach/caves/images/karst/karst_fig1.jpg)

Berdasarkan laporan mengenai Studi Perkembangan Keresarian Kualitas Kependudukan dan Lingkungan di Kabupaten Gunung Kidul (1986) dijelaskan bahwa daerah Kabupaten Gunung Kidul yang mempunyai topografi karst pada umumnya memiliki keadaan hidrologi yang relatif buruk. Keadaan ini dipengaruhi oleh struktur yang berkembang di daerah kapur terutama oleh banyaknya kekar dan sesar (*fault*). Air hujan yang jatuh di daerah ini sebagian diresapkan dan menjadi aliran di bawah permukaan tanah. Sebenarnya persediaan air di daerah Kabupaten Gunung Kidul cukup tinggi, akan tetapi kemudahan untuk mendapatkannya kecil karena berupa sungai-sungai bawah tanah yang pola alirannya sulit untuk dilacak. Namun demikian daerah karst diharapkan sebagai sumber penyediaan air bersih.

Sumber air bawah tanah karst merupakan daerah yang permeabel. Permeabilitas daerah ini terutama disebabkan oleh sistem dan banyaknya

kekar yang di daerah karst sering disebut sebagai diaklas. Melalui sistem diaklas tersebut air hujan masuk ke dalam tanah dan terjadilah sistem pelarutan yang kemudian membentuk goa-goa. Goa-goa ini merupakan lorong-lorong saluran air yang terkadang membentuk atau dilalui sungai di bawah tanah. Air yang masuk melalui diaklas tersebut menjadi air karst di bawah permukaan tanah yang sesungguhnya berbeda dengan airtanah pada akuifer dengan permeabilitas primer. Oleh karena permeabilitas pada daerah kapur disebabkan oleh adanya struktur diaklas maka disebut sebagai permeabilitas sekunder.

1.4.4 Hidrokimia Airtanah

Agresivitas airtanah karst adalah kemampuan air untuk melarutkan batuan gamping pada akuifer karst. Pengaruh terhadap besar kecilnya agresivitas airtanah adalah kandungan kandungan gas karbondioksida dalam air, adanya proses pencampuran air, kondisi komponen aliran karst, termodinamika air (suhu dan pH), pengaruh dari ion lain yang terlarut dalam air, serta perubahan musim.

Kualitas kimia airtanah pada daerah karst akan dipengaruhi oleh interaksi antar airtanah dengan mineral penyusun batuan dengan proses utama berupa pelarutan. Untuk daerah karst reaksi airtanah dengan batuan karbonat merupakan proses yang sangat penting terkait dengan komposisi kimia airtanah. Kandungan karbondioksida dalam airtanah sangat berpengaruh dengan agresivitas airtanah terhadap batuan karbonat secara umum reaksinya adalah sebagai berikut :



1.4.5 Saringan Pasir Lambat (*Slow Sand Filtration*)

1.4.5.1 Sejarah

Slow Sand Filtration merupakan sebuah metode penyaringan untuk menghasilkan air yang bersih, dikenal sejak tahun 1804. Pertama kali didesain dan dibuat oleh John Gibb di Skotlandia dan dia berhasil menjual air hasil penyaringannya ke masyarakat umum dengan harga yang sangat murah per galonnya. Pada tahun 1829, James Simpson membangun instalasi pengolahan air untuk penyediaan air di London dengan mengadaptasi metode saringan pasir lambat. Selanjutnya di tahun 1852, semenjak metode tersebut menjadi sangat dikenal dan dirancang dengan baik, *Slow Sand Filtration* dikenal sebagai metode penyaringan mekanik yang menyaring partikel-partikel terlarut sehingga dapat menurunkan tingkat kekeruhan air. Keberadaan bakteri patogen dan kemampuan *Slow Sand Filtration* untuk menghilangkannya benar-benar tidak diketahui pada waktu itu (Huisman & Wood, 1974)

Penelitian oleh John Snow (1854) yang menginvestigasi penularan kolera telah memberikan kesimpulan bahwa penyakit tersebut menular melalui air dibawa dan ditularkan oleh *Materies Morbi*. *Materies morbi* dan padatan lainnya telah dihilangkan dengan proses penyaringan, proses penyaringan ini mengurangi kemungkinan infeksi dalam air yang disediakan. Setelah itu pada tahun 1858, pemeriksaan regular pasokan air, termasuk investigasi kimia dimulai di London. Selama tahun 1860

dan 1870 sampai 1885, penemuan-penemuan terus dikembangkan untuk memperhitungkan pemeriksaan bakteriologi (Huisman & Wood, 1974).

Sejak tahun 1892, efektifitas saringan pasir lambat menjadi terpercaya dikalangan masyarakat Altona dan Hamburg yang mengatasi masalah penyebaran penyakit kolera melalui air dengan saringan pasir lambat. Ini terjadi ketika sungai Elbe terjangkit oleh wabah kolera berasal dari sebuah kamp imigran yang menginfeksi penduduk di Hamburg menyebabkan lebih dari 7500 kematian sementara Altona selamat dari wabah yang ditularkan melalui air ini karena telah menerapkan saringan pasir lambat untuk mengolah dan menyaring air sebelum dikonsumsi. Filter mekanik utama pertama dipasang di USA pada 1855 dan filter tekanan otomatis yang utama dipatenkan di Inggris pada 1899. Selama tahun 1970 hingga 1990, penelitian menunjukkan efisiensi yang tinggi dari saringan pasir lambat untuk mengontrol kontaminasi mikrobal yang tidak diketahui sebelumnya. (Huisman & Wood, 1974).

1.4.5.2 Teori Saringan Pasir Lambat

Saringan Pasir Lambat mungkin dapat menjadi proses pengolahan air yang paling ekonomis, sederhana, dan terpercaya untuk mendapatkan air bersih. Proses ini berbeda dari saringan pasir cepat, terutama pada laju filtrasi yang diterapkan. Saringan pasir lambat adalah proses pengolahan air yang memungkinkan air baku meresap dari permukaan melalui media pasir halus yang selanjutnya keluar melalui saluran keluaran di bawah. Ukuran butir efektif (d_{10}) yang digunakan pada system ini lebih halus daripada saringan pasir cepat, biasanya ukuran butir efektif adalah

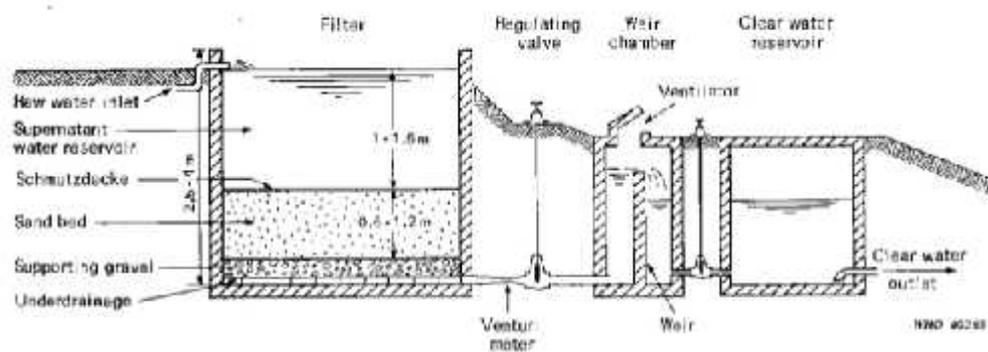
kisaran 0.15 – 0.30 mm dengan koefisien keseragaman (Cu) kurang dari 5 dan sebaiknya kurang dari 3 seperti yang disebutkan pada Tabel 1.1 (Visscher, 1990). Ukuran butir yang kecil ini memberikan celah yang sangat kecil pada filter diantara butir yang memungkinkan air untuk mengalir dengan perlahan melalui media penyaringan, laju filtrasi biasanya antara 0.1 – 0.2 m/h (Visscher, 1990). Padatan tersuspensi, materi koloid, dan bakteri dari air baku yang terakumulasi pada lapisan paling atas yang tidak dibersihkan secara teratur, menjadikan bakteri yang melakukan pemurnian berkembang dan memainkan peran paling penting pada proses saringan pasir lambat untuk menghasilkan kualitas air yang baik. Ini adalah alasan mengapa saringan pasir lambat disebut juga filtrasi biologi (Huisman & Wood, p. 18, 1974).

Design criteria	Recommended value
Design period	10-15 years
Period of operation	24 h/d
Filtration rate	0.1-0.2 m/h
Filter bed area	5-200 m ² per filter, minimum of 2 units
Height of filter bed:	
Initial	0.8-0.9 m
Final before resending	0.5-0.6 m
Sand characteristics:	
Effective size d_{10}	0.15-0.30 mm
Uniformity coefficient Cu	<5, preferably below 3
Height of underdrains including gravel layer	0.3-0.5 m
Height of supernatant water	1 m

(*) To facilitate manual cleaning

Tabel. 1.3 Kriteria Desain Untuk Slow Sand Filter (Visscher, 1990)

Elemen saringan pasir lambat yang terus digunakan hingga saat ini adalah sebagai berikut (Huisman & Wood, p. 18 – 19, 1974 dan Manz, 2004):



Gambar 1.2 Diagram Saringan Pasir Lambat (Huisman & Wood, 1974)

- 1) **Lapisan Air Supernatant**, fungsi dari bagian ini adalah untuk mempertahankan batas konstan dari air diatas pasir yang memberikan tekanan yang membantu air melewati lapisan filter. Lapisan air supernatant juga penting untuk mengaurangi gangguan dari air yang masuk pada lapisan atas saringan pasir. Untuk itu diperlukan kedalaman diatas permukaan setinggi 1m.
- 2) **Lapisan Filter**, semua materi yang berbutir dapat dijadikan media penyaringan tetapi pasir sering dijadikan media penyaring karena harganya yang murah, tahan lama, serta ketersediaannya yang melimpah di alam. Pada pasir halus bersih ini berbagai proses pemurnian berlangsung. Kualitas air yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa mekanisme yang terjadi didalam media pasir. Lapisan pasir didukung oleh material kasar seperti kerikil di lapisan bawah. Kedalaman pasir filter harus sekitar 1 m. Ini disarankan untuk mendapatkan 0.8 m pasir yang berperan penting dalam pembasmian virus juga untuk menyediakan sejumlah pasir untuk dapat di keruk nantinya ketika sudah terjadi penyumbatan.

- 3) **Sistem Pengurasan**, fungsi dari bagian ini adalah untuk mendukung lapisan filter, biasanya digunakan kerikil di lapisan bawah pasir dan untuk mengumpulkan air hasil filtrasi dari bawah tempat penyaringan tanpa ada pasir yang terbawa.
- 4) **Sistem Kontrol Katup**, katup merupakan yang terpenting dalam sistem ini untuk mempertahankan kecepatan air baku, kecepatan air hasil penyaringan, mengatur tinggi air, untuk menunjang proses *backfilling* dimulai dari kolom konstruksi sehingga udara dapat dikeluarkan dari lapisan pasir.

1.4.5.3 Pengoperasian & Pemeliharaan

Saringan pasir lambat adalah teknologi sederhana dan pasif yang memerlukan sedikit pengawasan operator. Biasanya tidak dibutuhkan bahan kimia untuk menyaring air. Terdapat dua jenis penyaringan pada saringan pasir lambat berdasarkan pengoperasiannya, yaitu *Continuous Slow Sand Filtration* dan *Intermitent Slow Sand Filtration*. Dua metode ini menggunakan material yang sama yaitu pasir, dimana proses dari siklus pengisian dan pengurasannya yang berbeda.

Continuous Slow Sand Filtration (SSFc)

Dalam SSFc proses dimulai dari lapisan supernatant dimana air tertahan selama beberapa jam dan partikel-partikel diendapkan. Lapisan supernatant harus dijaga pada ketinggian 0.3 – 1.5 m diatas permukaan pasir untuk mengurangi gangguan pada *Schmutzdecke* (lapisan kotor) di lapisan teratas dari lapisan pasir. (Langenbach, 2010)

Selama pengoperasian padatan tersuspensi dan mikroorganisme seperti bakteri, parasit, dan virus tertahan dan terakumulasi pada lapisan permukaan. Akumulasi ini sangat aktif dengan mikroorganisme yang hidup didalamnya yang disebut *Schmutzdecke* atau lapisan biologi. Lapisan ini dipercaya memiliki peran penting untuk mengurangi kotoran, kekeruhan dan bakteri patogen yang terkandung pada air baku, sehingga dapat menghasilkan kualitas air olahan yang baik (Huisman & Wood, 1974). SSF_c secara permanen jenuh air dengan lapisan supernatant diatas lapisan penyaringan. Akibatnya luas permukaan jauh lebih kecil dan suplai oksigen tergantung pada oksigen terlarut dalam influen.

Untuk pemeliharaan filter, ada dua tugas yang harus dijalankan secara periodic yaitu pembersihan *Schmutzdecke* dan penggantian pasir. Proses pengerukan dari *Schmutzdecke* biasanya dilakukan apabila batasan head loss telah tercapai. Head loss berlebihan ditunjukan dengan terjadinya *clogging* pada permukaan pasir. Pertama-tama proses pengerukan harus dilakukan dengan membersihkan terlebih dahulu material-material organik yang mengapung seperti daun dan algae, lalu dengan menaikkan tinggi air material-material tersebut dapat keluar dari filter. Setelah proses tersebut, ketinggian air harus dikurangi sekitar 0,1 – 0,2 m dibawah lapisan pasir. Lalu lapisan atas dari filter pasir di keruk sekitar 1- 2 cm dari kedalaman pasie (Logsdon *et al.*, 2002; Visscher, 1990). Collins *et al.* (1991) menjelaskan nahwan cara alternatif untuk membersihkan *Schmutzdecke* adalah dengan *Filter Harrowing*. *Filter Harrowing* adalah proses pembersihan dimana permukaan pasir diaduk

sehingga material yang menghalangi lapisan filter dapat kembali terendapkan sehingga laju air yang melewati filter dapat kembali pulih. Material terendapkan pada air mengalir keluar pada sisi samping, tetapi pasir tetap pada lapisan filter.

Setelah dilakukan beberapa kali pengerukan, ketebalan pasir akan berkurang antara 500 – 600 cm. Pada saat ini, pasir yang telah bersih harus dimasukkan kedalam filter untuk mengembalikan lapisan ketinggian awal pasir pada 700 – 800 cm. proses ini disebut *resanding* dan ini dilakukan setiap dua hingga tiga tahun. Metode *resanding* yang dijelaskan oleh Visscher (1990) adalah dengan meletakkan pasir baru dibawah pasir lama. Dapat dilakukan dengan memindahkan pasir lama ke sisi yang lain lalu memasukan pasir baru, kemudian menempatkan pasir lama diatas pasir baru sehingga pasir baru berada di bawah pasir lama. Pada proses ini semua pasir baru harus berada di bawah pasir lama hal ini dilakukan untuk mempersingkat waktu pematangan agar filter dapat segera dioperasikan.

Kelebihan dari proses SSFc dibandingkan dengan proses intermittent slow sand filtration (SSFi) adalah kebutuhan ketinggian *hydraulic loading rate* di beberapa area kecil filter dibutuhkan yang menyebabkan biaya investasinya tidak terlalu tinggi. Selain itu mode operasi ini dapat menghasilkan kualitas air yang baik pada air hasil penyaringannya. Namun kekurangannya adalah air baku yang masuk melalui mode kontinyu ini memiliki kebutuhan oksigen tinggi dimana difusi oksigen dalam air terbatas dapat mengakibatkan terjadinya proses anaerobik sehingga dapat memperkecil pengurangan bakteri dan

menimbulkan bau pada lapisan filter. Selain itu lapisan supernatant pada SSFc juga menjadi lingkungan yang baik untuk tumbuhnya algae. Sehingga menghasilkan pertumbuhan algae yang tinggi dalam air dan menaikkan kebutuhan oksigen dalam air (Huisman & Wood, p. 20 - 22, 1974; Langenbach, 2010; Visscher, 1990)

Intermittent Slow Sand Filtration (SSFi)

SSFi adalah modifikasi dari operasi normal pada SSFc dan biasanya digunakan untuk pengolahan air sekunder atau tersier. SSFi berbeda dengan SSFc umumnya karena perbedaan interval waktu masuknya air ke filter. SSFc tidak memiliki interval waktu pengisian air karena mode ini terus mengisi bak filter. SSFi tidak membutuhkan pengoperasian secara kontinyu. SSFi biasanya dioperasikan 1 – 12 siklus termasuk pengisian dan pengurasan. SSFi memiliki pengoperasian sementara dalam penyaringan air. Ketika filter telah siap diisi dengan air lalu biarkan air meresap kebawah melewati lapisan pasir. Setelah siklus pengisian selesai permukaan filter akan mengering. Selama interval waktu dan periode istirahat, permukaan filter memungkinkan terjadinya difusi oksigen kedalam lapisan film tipis yang menyelimuti butiran pasir. Ini meningkatkan proses oksidasi dan memungkinkan retensi bakteri (Auset et al., 2005, Langenbach, 2010). Pemeliharaan dari SSFi tidak sama seperti seperti SSFc karena tidak ada *Schmutzdecke* yang terbentuk. Pemeliharaan dapat dilakukan dengan membiarkan lapisan permukaan mengering. Jika proses filtrasi tidak lagi efisien, lapisan biofilm harus di bersihkan menggunakan metode yang sama pada SSFc untuk renovasi

dan konduktivitas hidrolis awal. Satu kelemahan dari operasi SSFi seperti yang dijelaskan oleh Visscher (1990) juga menurut studi dan penelitian (Malzer, 2006) bahwa setelah filter kembali dijalankan, bakteri akan terbawa sampai ke outlet keluaran sehingga menyebabkan peningkatan konsentrasi bakteri pada air keluaran. Sebagai hasilnya operasi intermitten tidak terlalu direkomendasikan karena dapat menyebabkan kualitas air yang tidak memenuhi standar apabila setelah 4 - 5 jam pengoperasian filternya dijalankan kembali.

Perbandingan Antara SSFc dan SSFi

Perbedaan dari kedua metode tersebut tidak hanya dari mode operasi tetapi juga fitur desain yang dapat dilihat di tabel 1.2. Meskipun berbeda, proses dari retensi bakteri dan penghilangan bakteri pada SSFi dan SSFc adalah sama. Visscher (1990) menjelaskan bahwa SSFc lebih baik dioperasikan secara kontinyu dibandingkan SSFi untuk meningkatkan penghilangan bakteri yang lebih tinggi. Sedangkan Brissaud *et al.*, (1999), menjelaskan mengenai pengelolaan air sekunder atau tersier disarankan menggunakan pengoperasian intermitten. Membandingkan performa dari SSFi dan SSFc dalam batas penghilangan bakteri, Langenbach (2010) menemukan bahwa dua metode tersebut menghasilkan hasil yang berbeda dalam perbandingan pengurangan bakteri. SSFc menghilangkan lebih banyak bakteri dari pada SSFi pada tingkat kebutuhan oksigen yang rendah. Tetapi ketika padatan terlarut meningkat dan begitu pula pada peningkatan kebutuhan oksigen,

SSFi bekerja lebih baik dan signifikan untuk menghilangkan lebih banyak bakteri daripada SSFc.

Tabel 1.4. Perbandingan tipe desain dan mode operasi dari intermittent slow sand filtration (SSFi) dan continuous slow sand filtration (SSFc)

		SSFi	SSFc
Design	Material	Sand	Sand
	Bed depth (m)	1.5 – 2.0	0.5 – 1.5
	Sand size (mm)	d_{90} : 0.25 – 0.4 d_{50} : 0.2 – 0.8	d_{90} : 0.15 – 0.4
	Cu	< 10	< 5
Operation	Supernatant water (m)	Temporary after flooding	0.3 – 1.5
	Loading	Intermittent	Continuous
	HLR (m/h)	< 0.03	0.05 – 0.4
	Schmutzdecke	No	Yes

Sumber: Langenbach (2010)

1.4.5.4 Mekanisme Pengurangan Bakteri

Huisman & Wood, (1974) menegaskan bahwa banyak proses yang terjadi didalam saringan pasir. Meningkatkan kualitas air berdasarkan aspek fisika, kimia, dan biologi membutuhkan kerjasama dari beberapa elemen di dalam sistem. Dimulai dari pengisian air baku ke dalam saringan pasir. Air baku yang dimasukan kedalam filter pasir terdiri dari padatan terlarut yang memiliki partikel besar dan mikroorganisme yang memiliki ukuran partikel lebih kecil. Partikel yang lebih besar akan terendapkan pada permukaan filter dan partikel yang lebih kecil akan bergabung bersama sehingga lebih mudah untuk diendapkan dan dibersihkan.

Setelah beberapa hari operasi penyaringan pada permukaan pasir akan terbentuk selimut tipis dari material yang mengandung banyak organisme hidup yang aktif, lapisan tipis ini disebut *Schmutzdecke* atau biolayer. Lapisan ini terdiri dari algae plankton, diatom, protozoa, rotifer, dan bakteri. Menangkap berbagai jenis mikroorganisme, mencerna, lalu

menghancurkan material organik dari air baku merupakan beberapa proses yang secara aktif terjadi pada lapisan ini, algae yang mati dari lapisan supernatant dan organisme hidup dari air baku juga terdapat pada lapisan ini. Karena *Schmutzdecke* merupakan ekosistem aerobik yang membutuhkan oksigen terlarut dalam air, air baku yang masuk harus dijalankan terus menerus untuk memberi jumlah oksigen yang cukup. Apabila aliran air baku yang masuk terhentikan, lapisan *Schmutzdecke* akan mati atau tidak aktif. Itulah mengapa lapisan *Schmutzdecke* tidak terdapat atau tidak seaktif pada proses intermitten (yang tidak memiliki lapisan supernatant seperti pada mode pengoperasian kontinyu). Pada kasus ini lapisan tersebut tidak dapat bekerja sepenuhnya dan ini menyebabkan kualitas dari air hasil pengolahan akan menurun dan air tersebut tidak dapat digunakan untuk sementara. Ketika filter diisi kembali dengan air, *Schmutzdecke* akan aktif dan kemampuan untuk menghilangkan bakteri dari filter ini akan kembali baik. (Huisman & Wood, 1974; Manz 2004; Langenbach, 2010)

Tabel 1.5. Performa pengolahan dari saringan pasir lambat konvensional

Water Quality Parameter	Removal Capacity
Color	30-100%
Turbidity	Reduced to <1 NTU
Coliforms	1-3 log units
Enteric Viruses	2-4 log units
<i>Giardia</i> Cysts	2-4+ log units
<i>Cryptosporidium</i> Oocysts	>4 log units
Dissolved Organic Carbon	<15-25%
Biodegradable Dissolved Organic Carbon	<50%
Trihalomethane Precursors	<20-30%
Heavy Metals:	
Zn, Cu, Cd, Pb	95-99%
Fe, Mn	>67%
As	<47%

Sumber: Collins, M. R. (1991) dan Tech Brief (2000)

Pada saringan pasir, pengolahan secara fisika, kimia, dan biologi berlangsung dalam beberapa cara. Terdapat beberapa proses seperti transportasi, pengisian, mekanisme penjernihan (Huisman & Wood, 1974). Kolaborasi dari beberapa proses tersebut pada saringan pasir lambat dapat menghasilkan pengurangan yang tinggi pada padatan terlarut, mikroorganisme, dan logam berat yang dapat dilihat pada tabel 1.3. sehingga kualitas air yang baik dapat dihasilkan pada efluen. Berikut adalah beberapa proses tersebut:

Mekanisme Transport

Huisman & Wood (1974) menjelaskan bahwa mekanisme dari partikel yang tertransportasi dan terbawa sampai butiran pasir terdiri dari *straining* atau penyaringan, sedimentasi, inersia dan gaya sentrifugal, difusi, tarik menarik antar massa, dan elektrostatik & elektrokinetik.

Straining atau penyaringan. Ini merupakan proses penting yang terjadi di dalam saringan pasir. *Straining* lebih efektif pada celah ukuran butir pasir yang lebih kecil. Partikel yang besar tidak dapat melewati celah antar butir pasir, dengan demikian partikel-partikel tersebut akan tertahan lebih efektif pada permukaan filter.

Sedimentasi. Proses ini meliputi pengendapan oleh partikulat endapan tersuspensi pada air baku. Yang kemudian diendapkan pada butiran pasir. Sedimentasi meningkat dengan peluasan area permukaan pada media. Efisiensi sedimentasi adalah fungsi dari ratio antara pengisian permukaan filter dengan kecepatan pengendapan partikel tersuspensi. Jika kecepatan pengendapan sama dengan atau lebih tinggi

dari pada pengisian permukaan filter, pengurangan bakteri maksimum dalam batas proses sedimentasi dapat dicapai.

Gaya inersia dan centrifugal. Gaya ini juga terjadi dalam celah antar butiran pasir. Dikutip dari Huisman & Wood (p. 29, 1974) bahwa gaya ini bekerja pada partikel dengan massa jenis yang lebih tinggi daripada air yang mengelilinginya, memungkinkan partikel bergerak keluar dari aliran dan melakukan kontak dengan butiran pasir, mengakumulasi dalam ruang antar butir.

Difusi. Dikutip dari Huisman & Wood (1974) bahwa mekanisme ini membawa partikel tersuspensi tertarik pada kontak dengan permukaan yang mengandung. Ini tidak tergantung oleh laju filtrasi sehingga mekanisme ini terus berlangsung bahkan jika air berhenti mengalir. Efek gerakan difusi adalah kecil dibandingkan dengan mekanisme yang lain.

Tarik menarik massa atau gaya Van der Waals. Gaya ini bertindak baik pada mekanisme transportasi dan *attachment*.

Mekanisme *Attachment*

Huisman & Wood (1974) menjelaskan bahwa mekanisme *attachment* terjadi ketika partikel mendapatkan kontak dengan butiran pasir. Mekanisme ini merupakan daya tarik elektrostatik, gaya Van Der Waals, dan adhesi. Kombinasi dari mekanisme ini dikenal sebagai adsorpsi yang dijelaskan sebagai berikut:

Tarik menarik elektrostatik. Mekanisme ini berkaitan dengan muatan alami dari butiran pasir dan partikel. Dua kutub yang berbeda, positif dan negatif, menyebabkan proses perlekatan antara partikel dan butiran pasir. proses *attachment* kemudian akan menangkap partikel di

permukaan butiran pasir. Butiran pasir yang memiliki muatan yang sama dengan partikel akan terus mengalir melalui butiran pasir sampai bertemu butiran pasir dengan muatan yang berlawanan. Karena struktur kristalnya, kuarsa pasir bersih memiliki muatan negatif yang secara alami menarik partikel materi koloid dengan muatan positif seperti kristal karbonat, *flocculi* besi dan aluminium hidroksida, serta kation besi, mangan, aluminium merupakan logam lainnya. Partikel koloid termasuk bakteri asal organik memiliki muatan negatif dan dengan demikian mengusir pasir kuarsa bersih. Ini adalah salah satu alasan mengapa penghapusan bakteri tidak dapat dicapai dalam pasir bersih sebelum secara biologis matang. Selama pengisian air baku ke dalam filter, ada akumulasi partikel bermuatan positif dalam mengisi butiran pasir negatif, yang kemudian membuat saringan pasir matang. Akibatnya, mengarah pada lampiran kotoran bermuatan negatif di pasir matang bermuatan positif termasuk bakteri, materi koloid hewan dan nabati, nitrat, dan radikal fosfat. Pada saat proses *attachment*, pasir ini akan jenuh dengan partikel bermuatan negatif sehingga akan memperlambat atau bahkan menghentikan kemampuan keterikatan antara butiran pasir dan partikel.

Van der Waals. Hal ini juga disebut daya tarik massa yang memiliki efek yang sangat kecil untuk menarik partikel dari air. Hal ini dapat menahan partikel di permukaan setelah mereka menghubungi satu sama lain karena jarak antara mereka sangat kecil.

Adhesi. Proses ini terjadi selama proses pematangan di mana partikel dipertahankan dan terakumulasi dalam permukaan filter. Akumulasi partikel mulai menjadi lapisan pembiakan bakteri dan

mikroorganisme lainnya yang kemudian menghasilkan lapisan yang dikenal sebagai zoogloea. Lapisan ini membentuk lapisan agar-agar lengket pada permukaan *schmutzdecke* yang membiarkan partikel dari air baku cenderung menempel pada saat mereka datang melalui lapisan ini. (Huisman & Wood, 1974)

Mekanisme Purifikasi

Dua proses penting dalam mekanisme ini adalah oksidasi kimia dan mikrobiologi, namun proses biologis lainnya hewan dan sayuran juga dapat memainkan peran penting. Lapisan *Schmutzdecke* atau biofilm terdiri dari bakteri yang berasal dari air baku. Bahan organik yang menumpuk di lapisan ini digunakan sebagai makanan bagi bakteri untuk mencapai proses disimilasi dan asimilasi. Salah satu bagian dari makanan ini akan digunakan oleh bakteri untuk memasok energi untuk diri mereka sendiri dan memenuhi metabolisme mereka (disimilasi), dan pada bagian lain dari makanan diubah menjadi bahan sel untuk pertumbuhan mereka (asimilasi). (Huisman & Wood, 1974)

Kegiatan bakteri terjadi pada bagian atas saringan pasir karena ketersediaan bahan organik disimpan di bagian ini dan perlahan-lahan menurun pada kedalaman saringan pasir dimana makanan tidak lagi tersedia. Umumnya, di bawah kedalaman 30 - 40 cm, aktivitas bakteri reaksi kecil dan biokimia yang terjadi di bagian ini mengkonversi produk degradasi mikrobiologis asam amino menjadi amonia, nitrit, dan nitrat melalui proses nitrifikasi. (Huisman & Wood, 1974)

Gangguan aktivitas bakteri dan reaksi biokimia dapat menurunkan kualitas air hasil penyaringan. Gangguan dapat didasarkan pada laju

filtrasi, mode operasi, pasokan oksigen, dan suhu. Perubahan mendadak atau fluktuasi laju filtrasi cenderung mengurangi kualitas air karena menyebabkan gangguan keseimbangan aktivitas yang dilakukan oleh bakteri. Mode operasi kontinyu juga harus dipelihara dalam air influen, dimana harus mempertahankan jumlah makanan yang disediakan oleh air baku yang melewati filter. Dengan modus terus-menerus, fluktuasi kualitas air baku dan kuantitas dapat dihindari. Untuk mencapai oksidasi biokimia yang diinginkan dari bahan organik, waktu yang cukup, pasokan oksigen, dan suhu yang sesuai harus tersedia dalam filter ini. Waktu yang cukup terjamin dengan mempertahankan laju filtrasi dan dengan demikian memungkinkan air berhubungan dengan lapisan filter. Pasokan oksigen sangat penting selama proses filtrasi, oksigen membantu dekomposisi aerobik terjadi dalam lapisan filter. Ketika pasokan oksigen turun di bawah 3 mg/liter atau bahkan nol, maka dekomposisi anaerobik akan terjadi dalam proses dan akan menghasilkan hydrogen sulfida, amonia, dan substansi rasa dan bau produsen lain bersama-sama dengan terlarut besi dan mangan. (Huisman & Wood, 1974)

Efisiensi filtrasi pasir lambat dapat menurun dengan suhu rendah yang mempengaruhi kecepatan reaksi kimia dan laju metabolisme bakteri dan mikroorganisme lainnya. Jika suhu udara di bawah 2 °C, diperlukan baik untuk menutupi filter, mengurangi kerugian panas dan meningkatkan suhu dalam filter atau melakukan klorinasi selanjutnya untuk mengatasi masalah pemurnian di penyaringan. Pada suhu yang tinggi, aktivitas bakteri menghasilkan berbagai produk zat yang bertindak sebagai racun kimia dan biologi bakteri usus. Hasil proses ini

menunjukkan penghapusan *E. Coli* dan jumlah penurunan patogen yang tinggi. Selain itu, kehadiran flora dan fauna di filter, karena jumlah makanan yang cukup, oksigen, dan suhu yang baik menyebabkan penurunan yang lebih tinggi dari *E. coli* dan patogen. Sebaliknya, aktivitas bakteri semakin lambat pada suhu rendah, dan pada saat yang sama metabolisme bakteri usus melambat juga. Kondisi ini membuat penghapusan bakteri tidak efektif lagi sehingga membutuhkan penambahan klorin dalam air yang disaring sebagai desinfektan. (Huisman & Wood, p. 33, 1974).

1.4.5.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Retensi Bakteri Patogen Dalam Filter

Dalam hal penghapusan bakteri, ada beberapa faktor seperti *straining* dan adsorpsi yang mempengaruhi retensi bakteri patogen selama perkolasi melalui media berpori seperti yang ditekankan oleh Stevik, *et. al* (2004). Pada bagian ini akan dijelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi proses *straining* (media filter, tingkat pembebanan hidrolik dan penyumbatan) dan proses adsorpsi (media berpori, biofilm, kecepatan aliran air, dan konsentrasi bakteri) dalam lapisan filter.

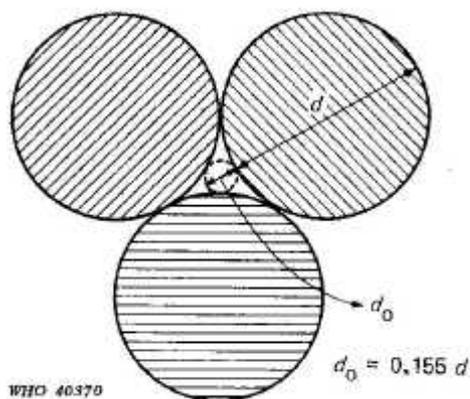
Straining

Stevik *et al.* (2004) menyebutkan bahwa mekanisme *straining* berperan penting pada *blocking* fisik pergerakan bakteri melalui ukuran pori-pori dan bentuknya yang lebih besar dan lebih panjang dari pori-pori.

- **Media Filter**

Banyak peneliti mengamati efek dari media filter pada kinerja filter. Umumnya dibahas diantaranya adalah, ukuran butir yang efektif dan koefisien keseragaman yang dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan karakteristik media filter. Visscher (1990) menyebutkan bahwa ukuran butir yang efektif harus dalam kisaran 0,15 - 0,30 mm dan koefisien keseragaman sebaiknya di bawah 3. Ausland *et al.* (2002) menjelaskan bahwa apabila dioperasikan di bawah kondisi yang sama, penghapusan *fecal coliform* ditemukan lebih dari tiga kali lipat lebih tinggi di media dengan ukuran butir terbaik dibandingkan dengan media pasir kasar. Langenbach *et al.* (2009) setuju bahwa butir pasir halus dapat menghasilkan lebih rendahnya konsentrasi E. coli dalam limbah dan dengan demikian penghapusan akteri dapat ditingkatkan. Bellamy dkk. (1985) menemukan bahwa penurunan ukuran butir menghasilkan peningkatan efisiensi penyaringan di mana penghapusan coliform mencapai 99,4% dengan ukuran butir dari 0.128 mm. Namun demikian, Ia menemukan bahwa persentase penghapusan masih tinggi (96%) dalam ukuran butir dari 0.615 mm. Penetrasi bakteri atau suspended solid yang lebih besar pada pasir kasar dibanding pasir halus. Ini akan mempengaruhi proses gesekan, sehingga lapisan tebal atas saringan pasir harus dikeluarkan. Pada Gambar 3, hubungan antara ukuran butir dan pori-pori ditampilkan. Ukuran butir efektif yang biasanya digunakan dalam penyaringan pasir lambat adalah 0,15 mm. Jika ukuran butir dalam filtrasi pasir hampir sama, pori-pori

terkecil antara butiran pasir adalah lebih dari 0,02 mm dan tidak mampu mempertahankan partikel koloid dengan diameter 0,001 mm atau bakteri dengan panjang sampai 0,015 mm.



Gambar 1.3 Hubungan Antara Ukuran Butir dan Ukuran Pori (Huisman & Wood, 1974)

Keseragaman sama pentingnya dengan ukuran butir dalam hal kinerja filter. Peningkatan koefisien keseragaman, lebih heterogennya pasir menghasilkan penurunan dan penghapusan *E. Coli* (Langenbach *et al.*, 2009). Kebanyakan sedimen alami memiliki ukuran butir yang sangat tidak seragam dan 10% pori-pori di beberapa pasir heterogen tidak memiliki intensif kontak dengan bakteri. Karena transportasi di pori-pori tak jenuh terjadi di pori-pori terkecil, *straining* bisa lebih efektif dalam aliran tak jenuh dibanding aliran jenuh melalui media yang sama (Stevik *et al.*, 2004)

Terdapat pori makro dan saluran di media pasir menyebabkan gerakan bakteri yang lebih leluasa. Aliran melalui pori makro memungkinkan gerakan yang cepat dan jauh dari bakteri sehingga aliran air dapat membawa bakteri melalui saringan dan dengan

demikian jumlah bakteri cenderung tetap tinggi dalam air hasil penyaringan.

Torrens *et al.*, (2009) menjelaskan bahwa mekanisme *straining* dipengaruhi oleh karakteristik fisik media filter, pemuatan hidrolis dan penyumbatan. Karakteristik fisik media filter mencakup distribusi ukuran butir, kedalaman lapisan pasir, dan jenis pasir. Dua karakteristik yang pertama telah dijelaskan dalam paragraf sebelumnya. Karakteristik jenis pasir yang mempengaruhi *straining* fisik adalah bentuk butiran media. Barton *et al.* (2007) menemukan bahwa apabila media lebih berbentuk menyudut maka lebih luas ukuran partikel yang dapat *straining* di media pasir. Di sisi lain, Torrens *et al.* (2009) menjelaskan bahwa tidak ada perbedaan signifikan yang ditemukan antara pasir sungai (bentuk bulat) dan pasir hancur (membentuk sudut) dalam kinerja filter. Temuan ini menunjukkan bahwa selama distribusi ukuran butir sesuai, pasir yang berasal dari salah satu daerah aluvial atau tambang dapat digunakan dalam penyaringan pasir lambat.

- ***Hydraulic Loading***

Mengendalikan laju filtrasi adalah kunci mengoptimalkan operasi saringan pasir lambat. Laju filtrasi di kisaran 0,1 - 0,2 m / jam biasanya cukup bagi filter untuk bekerja di waktu yang lama (Visscher, 1990). Stevik *et al.* (2004) menjelaskan bahwa tingkat aliran tinggi meningkatkan perkolasi air dalam saringan pasir tak jenuh. Hal ini memberikan kontribusi terhadap transportasi yang lebih dalam air melalui pori-pori pasir yang efek *straining* bakterinya

menurun di lapisan pasir. Akibatnya, penghapusan bakteri menurun dengan laju aliran yang lebih tinggi. Orb (2009) dan Langenbach (2010) yakin bahwa $HLR < 0,03$ m / jam cocok dioperasikan di saringan pasir intermitten karena menghasilkan penghapusan bakteri yang lebih tinggi.

Di sisi lain, Bellamy dkk. (1985) menemukan bahwa persentase penghapusan *Giardia kista* dan jumlah coliform relatif sama meskipun beroperasi di HLR berbeda. Persentase pengurangan bakteri mencapai 99.991 % pada 0,04 m / jam HLR dan 99.981 % pada 0,40 m / jam HLR.

- ***Clogging (Penyumbatan)***

Partikel-partikel kecil bergabung satu sama lain dengan pergerakan berputar antara butiran pasir. Aglomerasi partikel-partikel ini membuat mereka menjadi partikel yang lebih besar sehingga mereka dapat ditahan oleh proses *straining* dan terakumulasi dalam pasir. Pada saat itu, tempat lapisan pasir menjadi matang karena efisiensi proses *straining*, *Schmutzdecke* atau biolayer telah sepenuhnya berkembang dan tumbuh. Efek selanjutnya dari efektivitas pada proses *straining* adalah meningkatnya resistensi aliran air ke bawah melalui saringan pasir. Dengan demikian, laju filtrasi menjadi sangat lambat. Hal ini menunjukkan bahwa filter perlu dibersihkan. (Huisman & Wood, p. 31, 1974)

Banyak penelitian menunjukkan bahwa penghapusan bakteri lebih tinggi dalam sistem filtrasi tersumbat daripada dalam sistem tak tersumbat. Konsentrasi tertinggi bakteri di outlet dapat ditemukan

dalam filter yang sedikit tersumbat. Penyumbatan bisa menyebabkan disfungsi hidrolis yang terbukti menyebabkan lebih lamanya waktu yang diperlukan untuk mengalirkan air keluar dari kolom. Selain itu, kondisi anoksik dan pemurnian air limbah kurang berlangsung dalam periode penyumbatan ini. (Stevik *et al.*, 2004)

Adsorpsi

Adsorpsi dianggap mekanisme yang paling dominan dalam faktor pengurangan bakteri. Beberapa faktor yang mempengaruhi adsorpsi bakteri pada media pasir adalah media berpori, kehadiran bahan organik dan biofilm, kecepatan aliran air dan konsentrasi bakteri (Stevik *et al.*, 2004)

- Media Berpori

Media berpori sangat mempengaruhi proses adhesi dalam lapisan pasir. Proses ini terjadi dalam proses pematangan dimana partikel dipertahankan dan terakumulasi dalam permukaan filter. Sifat media berpori yang mempengaruhi proses adhesi adalah variabilitas dalam ukuran, tekstur permukaan dan pengisian media berpori. Ukuran partikel yang lebih kecil memberikan area permukaan besar daripada partikel kasar, sehingga memberikan situs adhesi lebih. Kekasaran permukaan media dapat meningkatkan adsorpsi karena media kasar ini dapat mengurangi gaya geser antara mereka yang menyebabkan penurunan tingkat desorpsi. Media yang memiliki muatan permukaan yang berbeda dari bakteri mungkin diharapkan memiliki adhesi terbesar dari bakteri. Kehadiran partikel tanah liat di

media mempengaruhi adhesi bakteri karena kapasitas tukar kation yang besar. Adhesi tanah liat juga dapat dijelaskan oleh adhesi elektrostatis antara materi bermuatan positif dan bakteri bermuatan negatif (Stevik *et al.*, 2004).

Karakteristik media lain yang juga penting untuk kinerja filter kedalaman pasir dan jenis pasir. Torrens *et al.* (2009) menemukan bahwa penghapusan indikator bakteri dan virus pada kedalaman pasir 65 cm lebih tinggi dari 25 m. Air yang mengalir melalui pasir dengan kedalaman 25 cm lebih cepat dibandingkan dengan 65 cm yang berarti bahwa waktu tinggal air di dalam pasir dengan kedalaman 25 cm lebih pendek dari 65 cm. Oleh karena itu, waktu hidrolis retensi (HRT) yang singkat di lapisan dangkal (25 cm) mungkin tidak mengakibatkan penghapusan yang jelas. Ini mungkin terlihat jelas dampak yang signifikan antara kedua kedalaman pasir 25 cm dan 65 cm. Selain itu, Keraita *et al.* (2008) menemukan bahwa lapisan pasir kedalaman 50 cm - 100 cm belum menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap penghapusan coliform fecal. Demikian juga, Bellamy *et al.* (1885) menunjukkan bahwa persentase penghapusan coliform tentang pengurangan pada lapisan pasir kedalaman 100 cm sampai 50 cm tidak berbeda secara signifikan, dengan demikian tidak akan mengganggu kinerja filter. Dalam penelitian tersebut, penghapusan coliform di lapisan pasir kedalaman 97 cm adalah 97%. Di sisi lain, pada lapisan pasir kedalaman 48 cm, penghapusan coliform mencapai 97%. Huisman & Wood (. P 30-34, 1974) menjelaskan bahwa mikroorganisme tumbuh di atas 30 - 40 cm dari

lapisan pasir, sehingga kedalaman tidur pasir tidak boleh kurang dari 50 cm. Maka kedalaman pasir minimum jelas diperlukan. Namun, kinerjanya juga tergantung pada faktor-faktor lain seperti kualitas air baku, ukuran butir yang efektif dan laju filtrasi.

- **Bahan Organik dan Biofilm**

Bahan organik yang tertahan di media dapat meningkatkan adsorpsi bakteri, kapasitas tukar kation dan luas permukaan. Di sisi lain, bahan organik yang tersedia dalam cairan dapat mengurangi adsorpsi bakteri karena kompetisi adsorpsi antara bakteri dan bahan organik. Bahan organik bermuatan negatif ini media dapat meningkatkan tolakan terhadap bakteri bermuatan negatif, sehingga pengurangan retensi bakteri di media (Stevik *et al.*, 2004).

Biofilm di media dapat mengubah secara fisik aksesibilitas serapan sehingga mengurangi kontaminasi. Di sisi lain dapat bertindak sebagai penyerap tambahan sehingga meningkatkan adhesi kontaminan (Stevik *et al.*, 2004). Proses adsorpsi yang dapat menghilangkan bakteri di saringan pasir lambat terjadi pada lapisan biofilm yang dibentuk oleh keterikatan terhadap butiran pasir (Bellamy dkk., 1985).

- **Kecepatan Aliran Air**

Laju alir tinggi meningkatkan gerakan air dalam media. Efek dari laju alir tinggi adalah jarak yang lebih besar antara bakteri dan media, waktu kontak yang singkat dan dengan demikian mengurangi kemungkinan adsorpsi bakteri dan mengurangi pemanfaatan luas permukaan media (Stevik *et al.*, 2004).

- **Konsentrasi Bakteri**

Peningkatan konsentrasi bakteri menyebabkan jumlah kontak bakteri dengan permukaan media dan kemudian meningkatkan kesempatan proses adhesi dalam media. Tingkat adsorpsi meningkat secara linear dengan konsentrasi sel (Stevik *et al.*, 2004).

1.4.5.6. Efisiensi Penyaringan Saringan Pasir Lambat

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\%$$

dimana :

η : Efisiensi Penyaringan

W : (Q₁-Q₂) Perbedaan jumlah bakteri

Q₁ : Nilai bakteri pada inlet

Q₂ : Nilai bakteri pada outlet

1.5 Lingkup Daerah Penelitian

1.5.1 Lokasi, Letak, Luas, dan Kesampaian Daerah Penelitian

1.5.1.1 Lokasi dan Letak serta Luas Daerah Penelitian

Lokasi penelitian berada di daerah aliran sungai bawah tanah Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara Geografis terletak pada koordinat UTM : 464000 – 476000 mT dan 9124000 – 9112000 mU. Daerah penelitian termasuk dalam 2

kecamatan yaitu kecamatan Ponjong dan Semanu. Menurut Data profil Kecamatan Ponjong dan Semanu Tahun 2013 luas total masing-masing kecamatan adalah 10.449,1000 ha untuk Kecamatan Ponjong dan 10.839,03 ha untuk Kecamatan Semanu.

1.5.1.2 Kesampaian Daerah Penelitian

Daerah penelitian ini letaknya 60 km dari Kampus 1 UPN “Veteran” Yogyakarta dengan kecepatan rata-rata 60 km/jam dapat ditempuh dalam waktu sekitar 2 jam. Kabupaten Gunung Kidul ini dapat ditempuh dengan kendaraan umum atau pribadi (sepeda motor, mobil, bus umum, dll). Sarana jalan menuju lokasi penelitian sudah beraspal dan dalam kondisi baik. Menuju lokasi penelitian dapat melalui jalan utama Yogyakarta – Wonosari.

1.5.2 Batas Wilayah Penelitian

Penelitian ini akan mengkaji mengenai kualitas air pada daerah imbuhan dan daerah pengolahan air Goa Bribin di Kabupaten Gunung Kidul. Parameter kualitas air yang akan dianalisis adalah kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform*. Selain menguji kualitas air pada daerah imbuhan & daerah inlet pengolahan, penelitian ini juga ditujukan untuk menganalisis hasil pengolahan air dengan saringan pasir lambat (kualitas air & efisiensi pengolahan). Kualitas air akan dinilai berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang baku mutu kualitas air minum. Efisiensi pengolahan air sungai bawah tanah dengan saringan pasir lambat terhadap penurunan tingkat kekeruhan & penurunan kadar

bakteri *E. Coli* dan *Total Coliform* akan dianalisis berdasarkan jenis media pasir yang digunakan.

Batas daerah penelitian didapat dari batas hasil tumpang susun (*overlay*) dari ruang batas permasalahan penelitian, ruang batas ekologis/ekosistem, dan batas Sub DAS.

1.5.2.1 Batas Ekologis

Batas ekologis di daerah penelitian berupa batasan sungai pentung yang terletak di utara daerah penelitian yang menjadi daerah imbuhan dari aliran sungai bawah tanah bribin.

1.5.2.2 Batas Ekosistem

Batas ekosistem berdasarkan bentuklahan daerah penelitian yaitu daerah aliran sungai bawah tanah daerah karst. Morfologi daerah penelitian berupa perbukitan karst.

BAB II

RUANG LINGKUP PENELITIAN

2.1 Lingkup Kegiatan Penelitian

Kebutuhan air bersih merupakan salah satu hal terpenting dalam kehidupan manusia, air digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Di daerah Gunung Kidul cukup sulit mendapatkan air permukaan yang memiliki kualitas yang memenuhi, tetapi potensi air sungai bawah tanah pada daerah ini dapat memenuhi kebutuhan air bersih penduduk apabila dilakukan pengelolaan yang tepat guna. Penelitian di daerah aliran sungai bawah tanah Kabupaten Gunung Kidul ini difokuskan pada kondisi kualitas air sungai bawah tanah pada daerah imbuhan dan daerah pengolahan air Goa Bribin.

2.1.1 Jenis Kegiatan Penelitian

Ada beberapa jenis kegiatan yang dilakukan dalam melakukan penelitian. Jenis kegiatan tersebut meliputi tahap persiapan dan studi literatur, tahap lapangan, tahap laboratorium, dan tahap analisa data. Tahap kegiatan tersebut dilakukan dengan urutan yang sistematis dan terkait satu sama lain.

Tahap persiapan terdiri atas pengumpulan data sekunder, literatur, peta geologi, peta Rupa Bumi Indonesia, serta foto udara Google Earth, dan peta aliran sungai bawah tanah yang dapat menjadi acuan penelitian. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan gambaran serta ruang lingkup penelitian agar tidak terlalu meluas. Dan juga memberikan informasi mengenai kriteria yang dikaji untuk mendapatkan tingkat kesesuaian dan kemampuan lahan. Hal ini juga didukung dengan peta wilayah penelitian, berupa peta administrasi, peta

satuan batuan, peta aliran sungai bawah tanah, peta citra satelit Google Earth, dan peta penggunaan lahan.

Tahap lapangan pertama merupakan kelanjutan dari tahap persiapan, dimana peta-peta tematik tersebut di atas diaktualisasikan menurut kondisi sebenarnya di lapangan. Pengamatan dilakukan secara kualitatif-deskriptif dan juga kuantitatif terhadap objek-objek yang akan dipetakan. Seperti pendeskripsian satuan batuan untuk mewujudkan peta satuan batuan dan pengamatan penggunaan lahan aktual untuk peta penggunaan lahan.

Kemudian dari empat peta tematik tersebut tadi, ditumpangsusunkan sehingga mendapatkan peta lokasi pengambilan sampel untuk dilakukan pengukuran dan pengamatan terhadap parameter penelitian.

Pengolahan data merupakan kegiatan mengolah data dan menganalisis hasil survei maupun pengambilan data lapangan. Baik data kuantitatif, maupun data kualitatif deskriptif untuk nantinya dicocokkan dengan kriteria. Untuk pengolahan data kualitas air yang di dapat dari pengambilan sampel pada daerah imbuhan aliran sungai bawah tanah Bribin akan dibandingkan dengan baku mutu kualitas air minum berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/MENKES/ PER/ IV/ 2010. Untuk hasil monitoring kualitas air pada inlet dan outlet Saringan Pasir Lambat yang dilakukan selama satu bulan juga dibandingkan dengan baku mutu kualitas air minum berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010.

Untuk selanjutnya, hasil pengujian sampel pada imbuhan dan daerah pengolahan aliran sungai bawah tanah Bribin serta hasil monitoring kualitas air pada inlet dan outlet di saringan pasir lambat akan dianalisis secara kuantitatif-deskriptif.

2.1.2. Komponen Lingkungan

Komponen Lingkungan yang dikaji dalam penelitian ini adalah mengenai kualitas air sungai bawah tanah pada daerah imbuhan dan daerah pengolahannya di daerah Gunung Kidul. Komponen yang dimaksud seperti komponen geofisik, geokimia, dan sosial. Komponen lingkungan geofisik yang berpengaruh seperti curah hujan, batuan, bentuk lahan, dan arah aliran sungai. Untuk komponen lingkungan geokimia meliputi kualitas air pada daerah imbuhan dan kualitas air pada inlet dan outlet di daerah pengolahan air sungai bawah tanah. Sedangkan komponen lingkungan sosial meliputi penggunaan lahan, rekayasa sistem saringan pasir lambat, rekayasa mekanis di daerah imbuhan, efisiensi pengolahan air, dan meminimalisasi pencemaran pada daerah imbuhan sungai bawah tanah.

Untuk lebih jelasnya, komponen lingkungan yang terlibat dalam penelitian ini, disajikan dalam tabel 2.1.

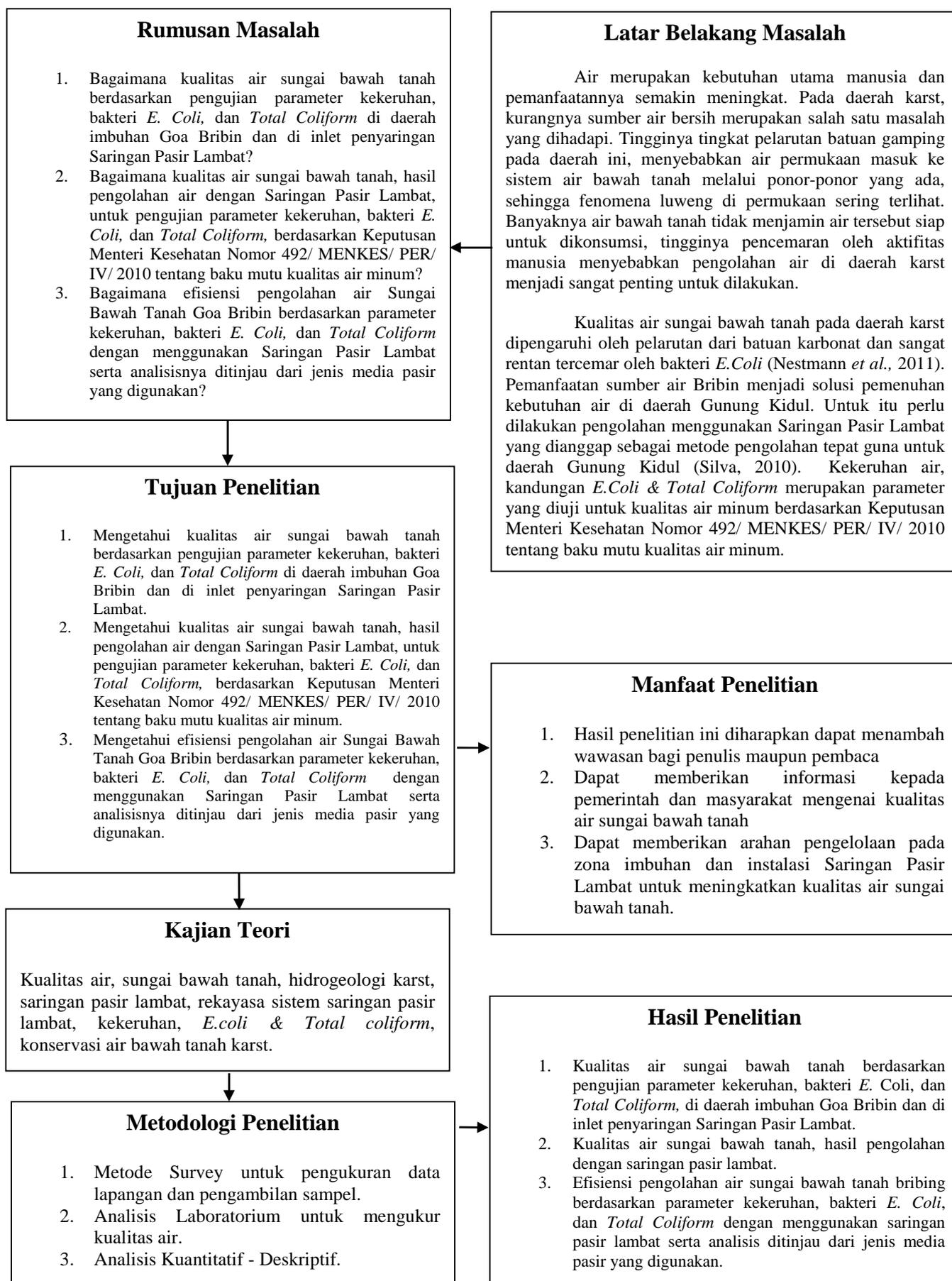
Tabel 2.1. Komponen Lingkungan yang Terkait dengan Lingkup Kegiatan Penelitian

No	Komponen Lingkungan	Keterkaitan Komponen Lingkungan dengan Data yang Dibutuhkan
1	Kondisi Hidrologi	Kekeruhan
		Bakteri <i>E. Coli</i>
		<i>Total Coliform</i>
2	Rekayasa Teknologi Saringan Pasir Lambat	Jenis Pasir
		d_{10} (Ukuran Butir Efektif)
		Cu (Keseragaman Butir)
		HLR / Flow Rate
		Mode Operasi
		Desain Bangunan
		SSA (<i>Sand Surface Area</i>)
<i>Sand Configuration</i>		

No	Komponen Lingkungan	Keterkaitan Komponen Lingkungan dengan Data yang Dibutuhkan
3	Kondisi Geomorfologi	Batuan/Mineral Batuan
		Topografi
		Arah Aliran Sungai
4	Sosial	Penggunaan Lahan
		Pencemaran Imbuhan Sungai Di Wilayah Recharge
		Rekayasa Vegetatif Di Daerah Imbuhan
		Rekayasa Sistem Saringan Pasir Lambat
		Rekayasa Mekanis Di Daerah Imbuhan

2.2 Kerangka Alur Pikir Penelitian

Kualitas air sungai bawah tanah pada daerah karst dipengaruhi oleh pelarutan dari batuan karbonat dan sangat rentan tercemar. Pada daerah imbuhan tingginya tingkat pelarutan dan masuknya air permukaan melalui ponor-ponor menjadikan kualitas air sungai bawah tanah tidak menjamin untuk dapat langsung dikonsumsi, untuk itu diperlukan pengolahan air sungai bawah tanah agar air dapat memenuhi standar dan dapat dikonsumsi. Secara terstruktur, kerangka alur penelitian pada penelitian ini disajikan dalam gambar 2.2.



Gambar 2.1. Kerangka Alur Pikir

BAB III

CARA PENELITIAN

3.1 Jenis Metode Penelitian dan Parameter yang Digunakan

Metode penelitian adalah tata cara untuk memandu peneliti mengenai urutan bagaimana penelitian dilakukan dengan sistematis. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian tentang Kajian Kualitas Air Sungai Bawah Tanah Pada Daerah Imbuhan Dan Daerah Pengolahan Air Goa Bribin, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Studi Kasus Instalasi Pengolahan Air Saringan Pasir Lambat – IWRM Project) adalah metode survey, analisis laboratorium, dan analisis Kuantitatif – Deskriptif.

Survei adalah teknik riset yang memberikan batasan yang jelas atas data; penyelidikan; peninjauan (Depdiknas, 2005). Survei lapangan yang dilakukan adalah untuk mendukung pemetaan yaitu dalam membuat peta tematik yang dibutuhkan. Survei juga dilakukan untuk memperoleh data terhadap kegiatan yang dilakukan di lapangan dengan cara melakukan pengamatan, pengukuran, serta proses pencatatan hal-hal penting yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

Wawancara adalah bentuk komunikasi langsung antara peneliti dan responden. Dimana pertanyaan yang diajukan merujuk kepada salah satu parameter yang sesuai dengan topik.

Selain metode, dalam suatu penelitian tidak lepas dari data-data atau hasil rekam hal-hal penting yang harus dikumpulkan dalam rangka menunjang penelitian. Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara yaitu pengumpulan data primer dan pengumpulan data sekunder. Pengumpulan

data primer merupakan pengumpulan data secara langsung di lapangan. Data primer yang dibutuhkan meliputi peta tentatif, hasil laboratorium, hasil pengukuran, dan observasi lapangan.

Sedangkan pengumpulan data sekunder adalah pengumpulan data tentang hasil penelitian terdahulu dan uraian lain yang berhubungan langsung dengan penelitian. Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian meliputi peta-peta dasar (peta RBI, peta geologi, peta topografi, peta aliran sungai bawah tanah) dan data curah hujan. Pada tabel 3.1 disebutkan komponen lingkungan serta parameter yang berkaitan dengan penelitian.

Tabel 3.1 Parameter yang Akan Digunakan Dalam Penelitian

No	Komponen Lingkungan	Parameter
1	Kondisi Hidrologi	Kekeruhan
		Bakteri <i>E. Coli</i>
		<i>Total Coliform</i>
2	Rekayasa Teknologi Saringan Pasir Lambat	Jenis Pasir
		d_{10} (Ukuran Butir Efektif)
		Cu (Keseragaman Butir)
		HLR / Flow Rate
		Mode Operasi
		Desain Bangunan
		SSA (<i>Sand Surface Area</i>)
<i>Sand Configuration</i>		
3	Kondisi Geomorfologi	Topografi
		Batuan/Mineral Batuan
		Arah Aliran Sungai
4	Sosial	Penggunaan Lahan
		Pencemaran Imbuhan Sungai Di Wilayah Recharge
		Rekayasa Vegetatif Di Daerah Imbuhan
		Rekayasa Sistem Saringan Pasir Lambat
		Rekayasa Mekanis Di Daerah Imbuhan

3.2 Teknik Sampling dan Penentuan Lokasi Sampling

Teknik sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah *purposive sampling* yang merupakan bagian dari *non probability sampling*, yaitu penarikan sampel dengan pertimbangan yang didasarkan pada kepentingan atau tujuan penelitian. Dalam penelitian ini menggunakan satu peta pengambilan sampel. Pengambilan sampel didasarkan pada peta satuan batuan, peta topografi, peta penggunaan lahan, dan peta aliran sungai bawah tanah Bribin. Sampel yang akan diambil adalah sampel air pada daerah imbuan sungai bawah tanah Bribin dan sampel air pada daerah pengolahan air sungai bawah tanah Bribin yaitu di inlet dan outlet pada media penyaringan menggunakan pasir lambat. Pengambilan sampel pada inlet dan outlet di media penyaringan pasir lambat dilakukan selama 1 bulan, dengan mengambil sampel 2 kali per hari, pada pagi dan sore hari. Untuk dilihat secara statistik kualitas air sungai bawah tanah yang masuk dan keluar pada saringan pasir lambat. Selanjutnya sampel akan dianalisis dengan pengujian di laboratorium (lihat peta 3.1)

3.3 Perlengkapan Penelitian

Perlengkapan penelitian berupa bahan dan alat yang diperlukan saat penelitian dilakukan baik di lapangan, laboratorium, maupun studio dapat dirincikan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Perlengkapan Penelitian, Kegunaan, dan Hasil yang Didapat

No	Perlengkapan	Kegunaan	Hasil
1.	Bahan		
	a. Peta Rupa Bumi Lembar Semanu dan Karangmojo, skala 1:25.000	Untuk menentukan lokasi penelitian, Tafsiran penggunaan lahan, dan geologi.	Peta tafsiran dan peta dasar (untuk di lapangan dalam pembuatan peta tematik)
	b. Peta geologi regional, Skala 1:50.000		
	c. Peta topografi, skala 1:25.000		
	d. Foto udara Google Earth		
	e. Peta daerah aliran SBT Bribin		
2. Peralataan Lapangan			
a.	GPS (<i>Global Positioning system</i>)	Menentukan lokasi atau posisi geografis, elevasi dan arah mata angin	Data pembuatan peta tematik
b.	Roll meter	Mengukur tinggi dan jarak dalam meter	Data pembuatan peta tematik
c.	Botol kaca gelap	Mengambil sampel air	Sampel Air
d.	Kamera digital	Mengambil gambar daerah penelitian	Informasi gambar pendukung penelitian
e.	Alat tulis-menulis	Pencatatan data	Informasi data tertulis
f.	Kalkulator	Menghitung	Data Perhitungan
3.	Peralatan Studio		
	a.	Komputer dan printer	Pembuatan peta secara digital dan laporan
b.	Alat uji laboratorium (Turbidity Meter, Quany Tray, Reagen Colilerts18, Gelas Ukur)	Analisis sampel air dan batuan untuk uji kualitas air, mengukur	Kualitas air sungai bawah tanah dan air hasil

		kekeruhan, bakteri <i>E.Coli</i> dan <i>Total Coliform</i>	pengolahan dengan SPL
	c. Alat-alat tulis dan gambar	Pembuatan tulisan dan gambar peta dari data penelitian	Karya tulis ilmiah hasil penelitian



(a)



(b)



(c)



(d)



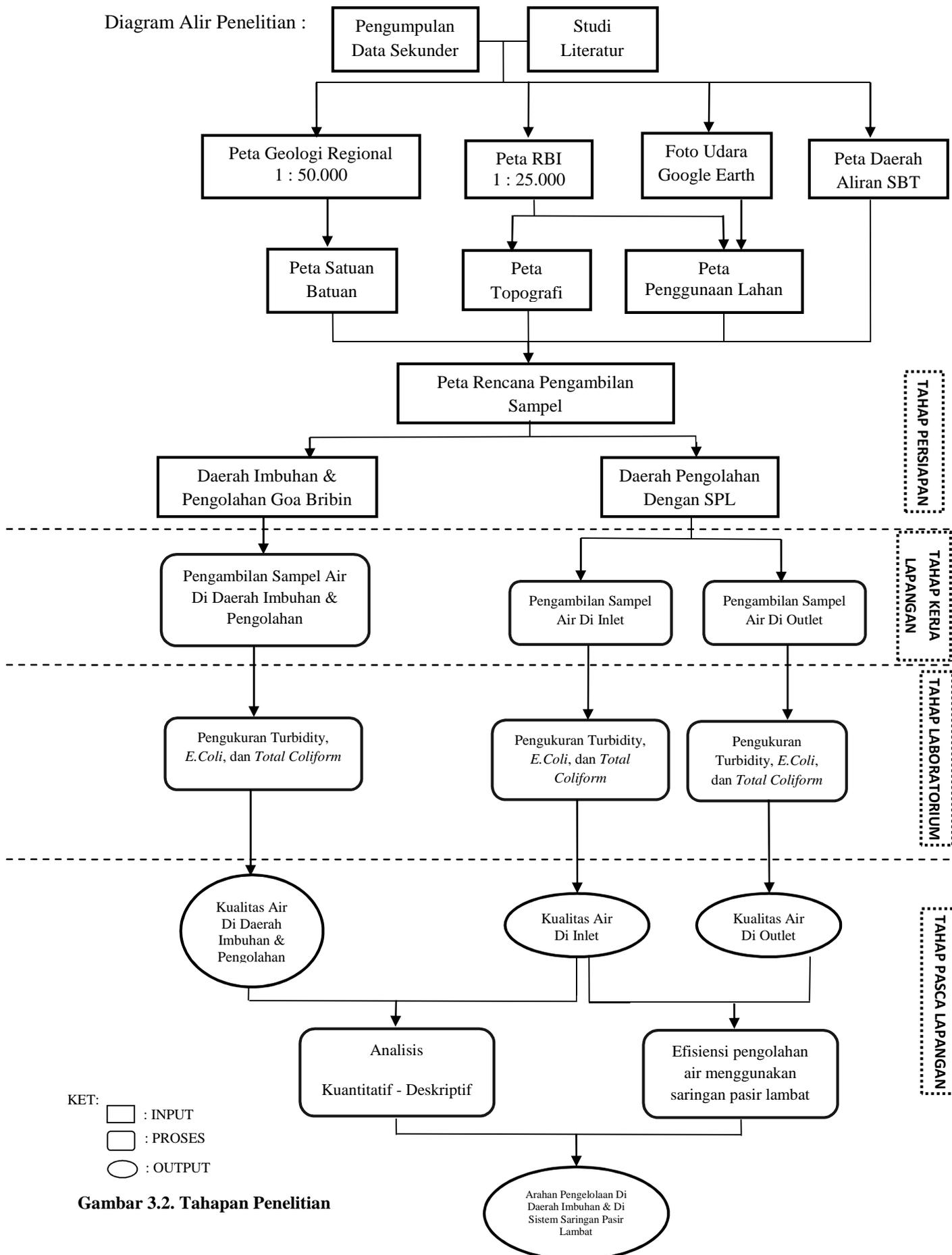
(e)

Gambar 3.1. Perlengkapan Penelitian ; (a) *Global Positioning System*. (b) Kompas Geologi, (c) *Quanti Tray* (d) Reagen *Collilert-18*, (e) Inkubator

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun sesuai tahapan kegiatan yang akan dilakukan dan tahapan penelitian ini meliputi 3 tahapan yaitu tahap persiapan, tahap kerja lapangan, dan tahap laboratorium, dan tahap pasca lapangan. Rincian dari masing-masing tahapan penelitian tersaji pada gambar 3.2

Diagram Alir Penelitian :



3.4.1 Tahap Persiapan

- a. Studi pustaka, dilakukan untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi pustaka mencakup penelusuran literatur-literatur, jurnal ilmiah, hasil penelitian terdahulu, buku, maupun peta-peta tematik.
- b. Administrasi, pengurusan izin penelitian secara akademik dan izin resmi penelitian kepada instansi terkait di wilayah Kabupaten Gunung Kidul maupun Kecamatan Semanu dan Ponjong.
- c. Pengumpulan data berupa penyiapan perlengkapan dan peralatan yang mendukung pelaksanaan penelitian. Untuk mendapatkan data primer dan sekunder perlu dilakukan identifikasi data menggunakan perlengkapan yang telah disebutkan sebelumnya
- d. Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan dan permasalahan daerah penelitian, selain itu observasi dilakukan untuk mendukung data sekunder sebagai pendukung dalam penelitian.
- e. Pembuatan peta tentatif merupakan peta sementara yang akan dicek di lapangan untuk menyempurnaan pembuatan peta. Peta tentatif dalam penelitian ini adalah peta topografi sebagai peta dasar.
- f. Pemetaan lapangan yaitu memindahkan unsur-unsur karakteristik lingkungan di lapangan ke dalam peta dalam bentuk titik, garis dan area secara dua dimensi. Pemetaan lapangan meliputi pemetaan satuan dan penggunaan lahan. Peta hasil dari pemetaan di studio akan diolah dengan ditumpangsusunkan (*overlay*) sehingga menjadi peta titik pengambilan sampel. Adapun peta titik pengambilan sampel nantinya

dipakai untuk memutuskan tempat pengambilan sampel dan pengukuran.

Tabel 3.3 Parameter, Jenis Data, Sumber Data, dan Instansi Terkait

No.	Parameter	Jenis/Sifat Data	Unsur Parameter	Sumber Data	Instansi Terkait
1.	Iklm	Sekunder	Curah hujan	Data curah hujan Stasiun Gedangan	BAPPEDA Kabupaten Gunung Kidul
2.	Relief	• Sekunder	Topografi dan bentuklahan	▪ Peta RBI 1:25.000	Bakosurtanal
		• Primer		▪ Pemetaan lapangan	
				▪ Sampling dan deskripsi lapangan	
3.	Hidrologi	• Primer	Kualitas air SBT pada daerah imbuhan dan pengolahan, kualitas air hasil pengolahan dengan menggunakan SPL	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sampling kualitas air pada daerah imbuhan dan pengolahan ▪ Sampling pada inlet dan outlet saringan pasir lambat 	
4.	Lahan	• Sekunder	Penggunaan lahan,	• Peta RBI 1:25.000	Bakosurtanal
		• Primer		• Pengamatan di lapangan	
5.	Sosial	Primer	Pencemaran imbuhan sungai di wilayah recharge, rekayasa vegetative di daerah imbuhan, rekayasa system SSF, rekayasa mekanis di daerah imbuhan	• Hasil observasi dan wawancara responden di lapangan	

3.4.2 Tahap Kerja Lapangan

Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara deskripsi (pengamatan dan pengukuran), pencatatan, dan plotting data lapangan pada peta

topografi. Data primer tersebut berupa parameter-parameter yang representatif di lokasi penelitian.

3.4.2.1 Pemetaan Satuan Batuan dan Penggunaan Lahan

Pemetaan satuan batuan, jenis tanah, kemiringan lereng, dilakukan untuk mengetahui rona lingkungan daerah penelitian. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung ketinggian muka airtanah dengan menggunakan sumur gali. Tujuannya adalah untuk mengalisis sistem akuifer guna untuk menyempurnakan data mengenai potensi airtanah.

Pembuatan peta satuan batuan mengacu dari peta regional dan kemudian melakukan cek lapangan. Cek lapangan dilakukan dengan mengamati warna, struktur, tekstur, komposisi mineral, jenis batuan, dan struktur geologi yang ada pada daerah penelitian. Hasil pemeriksaan ini akan berupa peta satuan batuan yang lebih aktual karena telah mengalami penyesuaian terhadap kondisi saat di lapangan.

Pemeriksaan penggunaan lahan akan dilakukan dengan mengacu pada peta Rupa Bumi Indonesia lembar Semanu dan Karangmojo skala 1 : 25.000. Pengkelompokan penggunaan lahan akan dibagi menjadi pemukiman, sawah, hutan dan ladang. Pemeriksaan akan dilakukan dengan mengamati penggunaan lahan pada kondisi lapangan yang sesuai kemudian dengan bantuan GPS akan diplot sesuai ke dalam peta. Apabila terdapat perbedaan antara peta acuan

dengan kondisi lapangan, maka dilakukan penyesuaian dengan kondisi lapangan.

3.4.2.2 Pengambilan Sampel Untuk Uji Kualitas Air

Pengambilan sampel dilakukan pada sungai dan goa yang menjadi daerah imbuan untuk daerah aliran sungai bawah tanah Bribin. Ditentukan beberapa titik pengambilan sampel yang dapat mewakili data yang akan dianalisis.

Dalam pengambilan sampel diambil sesuai standar yang berlaku yang mengacu pada SNI 06 – 2412 – 1991 Tentang Metode Pengambilan Contoh Kualitas Air. Parameter yang dapat diukur langsung dilapangan akan langsung diukur.

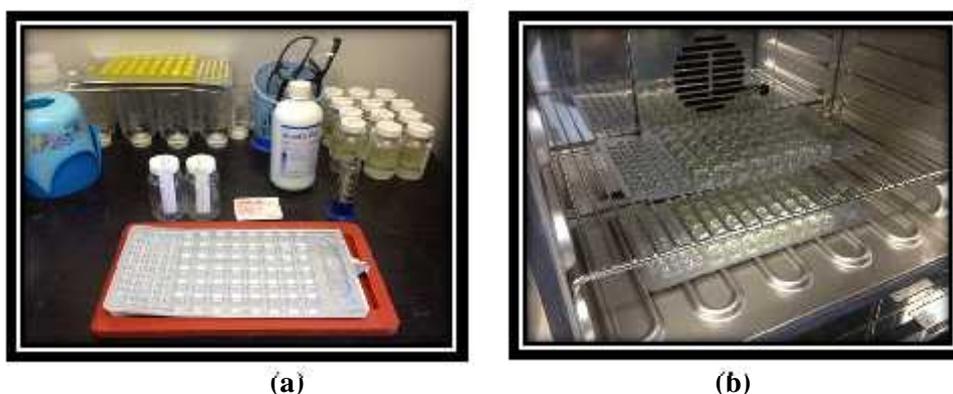
Untuk pengambilan sampel pada inlet dan outlet di saringan pasir lambat dilakukan sebanyak 2 kali setiap harinya. Berikut jadwal rutin monitoring saringan pasir lambat yang dilakukan selama 1 bulan.

Tabel 3.4 Jadwal Monitoring Kualitas Air Saringan Pasir Lambat

Waktu	Kegiatan
07.00	Pengisian SPL melalui inlet dengan kecepatan 5 m ³ /jam hingga supernatant mencapai 1 m, pengambilan sampel inlet.
09.00	Pengambilan sampel hasil inkubasi dari hari sebelumnya
09.30	Outlet dibuka dengan kecepatan 1,4 L/s, ketinggian supernatant dipertahankan di 1 m.
12.30	Pengambilan sampel pada outlet
13.30	Pengurasan air supernatant (valve outlet dibuka full)
15.00	Pengujian sampel di laboratorium, inkubasi sampel inlet dan outlet selama 18 jam. (hasil sampel diambil pada pukul 09.00 hari selanjutnya)

3.4.3. Tahap Kerja Laboratorium

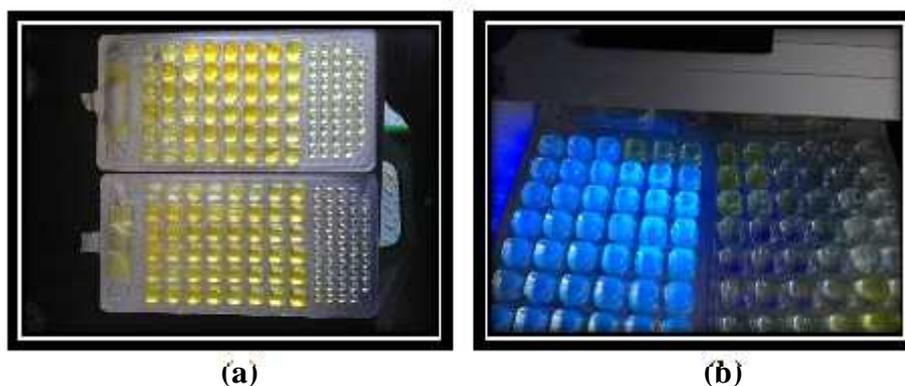
Tahapan ini untuk dilakukan pengujian mengenai kualitas air yang telah diambil sampelnya. Pengujian dilakukan di Laboratorium Hidrologi dan Kualitas Air KIT (*Karlsruhe Institute Technology*) yang bertempat di RSUD Wonosari, Laboratorium Hidrologi dan Kualitas air, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, dan laboratorium kualitas air Dinas Kesehatan Wonosari, Gunung Kidul, kemudian disesuaikan dengan peraturan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang baku mutu kualitas air minum. Hal-hal yang akan diuji adalah kekeruhan, kandungan bakteri *E. Coli* dan *Total Coliform*.



Gambar 3.3. Perlengkapan Laboratorium ;
(a) *Quanti Tray* & *Collilert*. (b) *Quanti Tray* dimasukan ke inkubator

Air sampel yang diambil dari inlet dan outlet saringan pasir lambat kaligoro lalu diuji di lab kualitas air KIT RSUD Wonosari. Alat yang digunakan adalah *Quanti Tray* dan *Collilert-18*, 100 ml sampel yang telah diberi reagen *Collilert-18* dan dituang kedalam *Quanti Tray* lalu dimasukan kedalam inkubator dengan waktu

inkubasi 18 jam. Kemudian setelah masa inkubasi dilihat banyaknya kotak dalam tray yang berubah warna menjadi kuning dan dilakukan pembacaan nilai kandungan bakteri dengan tabel MPN.



Gambar 3.4. *Quanti Tray* ;
 (a) *Quanti Tray* yang telah di inkubasi dan berubah warna (b) *Quanti Tray* dibawah sinar UV untuk menentukan kandungan *E. Coli*

3.4.4. Tahap Kerja Studio

3.4.4.1. Kerja Untuk Sajian Pada Rona Lingkungan

Hasil yang diperoleh di lapangan akan dilakukan penyajian dalam bentuk uraian, gambar, peta tematik dan sebagainya. Untuk data rona lingkungan primer yang didapat, akan dibandingkan dengan data rona lingkungan sekunder untuk mendapatkan perbandingan yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Bentuk data yang akan dianalisis adalah data geologi, hidrologi, iklim, dan kondisi sosial.

Hasil uji laboratorium akan disesuaikan dengan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang baku mutu kualitas air minum (terlampir).

3.4.4.2. Kerja Untuk Sajian Evaluasi Hasil Penelitian

Setelah semua data-data dari parameter didapatkan, maka dilakukan analisis kuantitatif-deskriptif pada data yang didapatkan dengan menyesuaikan dengan standar baku mutu air minum dari Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 dan melakukan perhitungan untuk menentukan efisiensi yang dihasilkan oleh saringan pasir lambat dalam melakukan penyaringan terhadap air sungai bawah tanah Goa Bribin. Perhitungan efisiensi dikerjakan menggunakan rumus efisiensi penyaringan saringan pasir lambat.

3.4.4.3. Kerja Untuk Sajian Arahan Pengelolaan

Arahan pengelolaan yang perlu direncanakan berupa konservasi pada daerah imbuhan dari sistem Sungai Bawah Tanah Bribin dan melakukan evaluasi hasil dari kualitas penyaringan dengan memperhatikan media penyaringan berupa pasir atau media yang digunakan, serta teknik pengoperasian dan pengawasan pada saat kegiatan penyaringan dilakukan agar kualitas air yang dihasilkan dapat lebih baik dan dapat menjadi salah satu sumber air minum untuk warga sekitar instalasi pengolahan air tersebut.

BAB IV

RONA LINGKUNGAN HIDUP

Rona lingkungan hidup adalah suatu kompleks komponen-komponen lingkungan yang saling berinteraksi sehingga sulit untuk memisahkan satu bagian dan mengubahnya tanpa mempengaruhi bagian dari lingkungan tersebut (Setiadi dan Tjondronegoro, 1989). Penggambaran rona lingkungan hidup pada penelitian ini disesuaikan dengan kondisi eksisting di Kecamatan Ponjong dan Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunung Kidul.

4.1. Komponen Geofisik-Kimia

Penjelasan komponen geofisik-kimia meliputi iklim dan curah hujan, bentuklahan, tanah, satuan batuan, tata air, dan bencana alam adalah sebagai berikut

4.1.1. Iklim dan Curah Hujan

4.1.1.1. Curah Hujan

Curah hujan berpengaruh langsung pada proses di recharge area daerah imbuhan sungai bawah tanah Bribin. Pengaruh lainnya yaitu pada penentuan kandungan CO₂ yang terkandung dalam curah hujan dan pengaruhnya terhadap kelarutan batuan pada daerah karst. Curah hujan merupakan bagian dari daur hidrologi dalam suatu ekosistem DAS yang bertindak sebagai masukan atau input pada ekosistem tersebut. Besar kecilnya jumlah air yang akan tertampung pada suatu DAS salah satunya adalah tergantung dari besar kecilnya curah hujan yang ada.

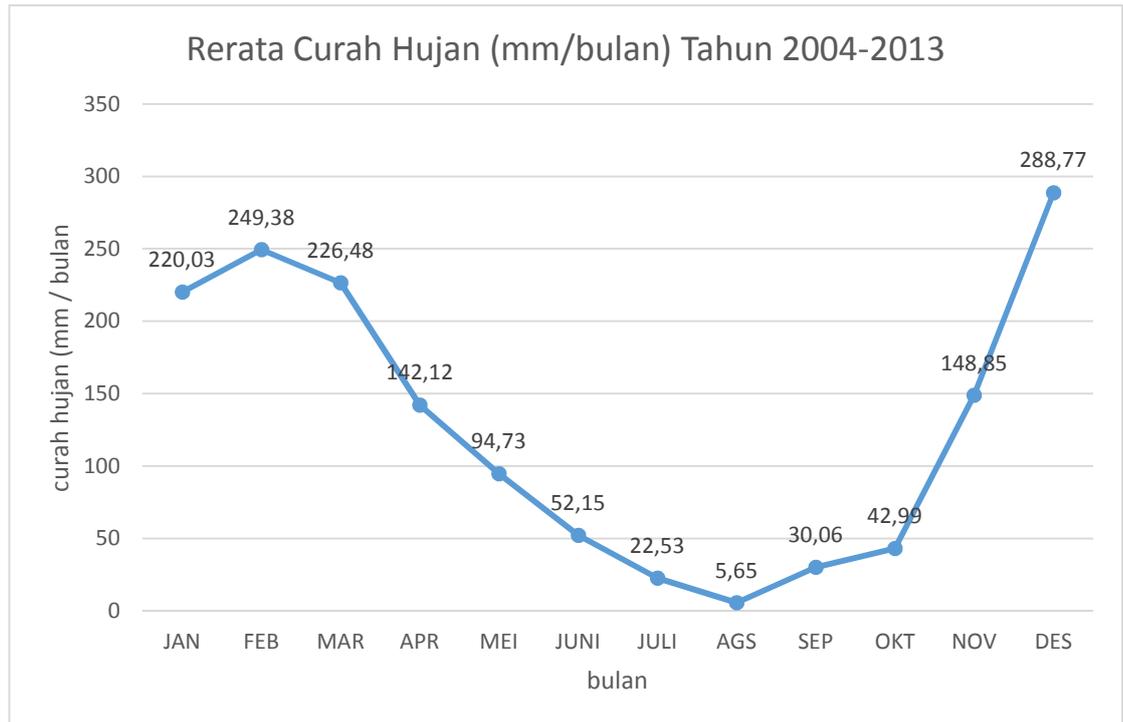
Data curah hujan (CH) pada tabel 4.1 diperoleh dari stasiun pemantau curah hujan yaitu Stasiun Gedangan dengan data dari tahun 2004 sampai 2013. Tahun dengan curah hujan tertinggi yaitu pada tahun 2013 sebesar 2217,1 mm, sedangkan tahun dengan curah hujan terendah adalah tahun yaitu tahun 2004 sebesar 770,8 mm.

Tabel 4.1. Jumlah dan Rata-rata Curah Hujan Bulanan Tahun 2004-2013 di Stasiun Gedangan (mm/bulan)

Tahun	Bulan												Jumlah
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
2004	70,2	55,2	0	29,9	30,3	6,4	7,3	0	0	27	126,5	418	770,8
2005	207,7	144	163,3	139,6	0,5	94,5	44	0	17	118,6	37,8	364,4	1331,4
2006	272,8	220,5	367,5	183,2	144,5	94,5	44	0	17	0	52,5	306,2	1702,7
2007	91,4	159,9	134,5	79,4	37,5	25,2	1	0	0	29,5	95,8	271,6	925,8
2008	110,1	168,4	177,3	71,6	13	7,9	0	0	2,7	70,3	222,9	103,9	948,1
2009	320	287,5	205,5	198,5	69,5	7	2,5	0	0	32	256,5	175	1554
2010	141,5	176,5	341	130	278,5	55,5	60	56,5	263	94,5	235,5	274	2106,5
2011	332,6	545,5	232,9	186	88	5	0	0	0	51,5	142,5	160,4	1744,4
2012	216	408,3	476,3	163,5	67	0,5	0	0	0	0	165,5	439,5	1936,6
2013	438	328	166,5	239,5	218,5	225	66,5	0	0,9	6,5	153	374,7	2217,1
Jumlah													17926
Rata-rata													1792,6

Sumber : Balai Pengelolaan Sumberdaya Air DIY

Keterangan : ■ Bulan Basah > 100 mm/bulan
■ Bulan Lembab 60 – 100 mm/bulan
■ Bulan Kering < 60 mm/bulan



Gambar 4.1. Grafik rerata curah hujan (mm/bulan) tahun 2004 – 2013 stasiun Gedangan

4.1.1.2. Tipe Iklim dan Kelas Iklim

Iklim merupakan gabungan dari berbagai kondisi cuaca harian. Unsur-unsur yang mempengaruhi kondisi iklim adalah curah hujan, kelembaban, tekanan udara, suhu udara, dan arah angin. Dalam penelitian ini, penentuan iklim menggunakan klasifikasi sistem Schmidt-Fergusson. Klasifikasi Schmidt-Fergusson menggolongkan iklim dengan menggunakan rasio Q (*Quotient*), yaitu perbandingan antara jumlah rerata bulan kering dengan jumlah rerata bulan basah berdasarkan tabel 4.1.

Nilai Q pada klasifikasi Schmidt-Fergusson dapat diperoleh dengan membagi rerata bulan kering dengan rerata bulan basah selama sepuluh tahun, yaitu dari tahun 2004 sampai tahun 2013 dari Stasiun Gedangan yang mencakup wilayah penelitian. Data bulan basah, bulan lembab, dan bulan kering telah direkapitulasi pada tabel 4.2 dengan mengikuti klasifikasi bulan kering dan bulan basah menurut Mohr (1933).

Tabel 4.2. Jumlah dan Rata-Rata Bulan Kering dan Bulan Basah

Tahun	Bulan Basah	Bulan Lembab	Bulan Kering
2004	9	3	2004
2005	5	7	2005
2006	5	7	2006
2007	6	6	2007
2008	5	7	2008
2009	5	7	2009
2010	2	10	2010
2011	5	7	2011
2012	5	7	2012
2013	3	9	2013
Jumlah	56	70	Jumlah
Rata-rata	5,6	7,0	Rata-rata

Sumber: Hasil Rekapitulasi Penentuan Tipe Iklim berdasarkan Curah Hujan Tahun 2004-2013

Nilai Q yang didapat dari perbandingan rerata jumlah bulan kering terhadap bulan basah adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{R}{R} \frac{J_k}{J_b} = \frac{K}{B} \frac{(B)}{n(B)} = \frac{5,0}{7,0} = 0,8 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Tabel 4.3. Klasifikasi Iklim Schmidt-Fergusson

Tipe Iklim	Nilai Q	Keterangan
A	0 Q < 0,143	Sangat Basah
B	0,143 Q < 0,333	Basah
C	0,333 Q < 0,600	Agak Sedang
D	0,600 Q < 1,000	Sedang
E	1,000 Q < 1,670	Agak Kering
F	1,670 Q < 3,000	Kering
G	3,000 Q < 7,000	Sangat Kering
H	Q > 7,000	Luar Biasa Kering

Sumber: Schmidt-Fergusson dalam Kartasapoetra, dkk. (1985)

Nilai Q untuk curah hujan di daerah penelitian sebesar 0,8 dan berdasarkan tipe iklim menurut Schmidt dan Fergusson pada tabel 4.3, iklim di daerah penelitian termasuk dalam kategori klasifikasi D atau iklim sedang.

4.1.2. Bentuklahan

Secara umum, bentuklahan karst kabupaten Gunung Kidul dapat dibedakan menjadi dua subsegmen, yaitu bagian utara dan bagian selatan. Pembagian itu mendasarkan pada kenampakan bentuk permukaan, yang meskipun semuanya disusun oleh batugamping, batuan itu dikelompokkan sebagai satuan stratigrafi yang berbeda. Subsegmen bagian Utara menampilkan morfologi perbukitan kerucut (Samodra, 2005).

Pada daerah penelitian bentuklahan pada bagian Selatan menunjukkan bentuklahan dengan perbukitan berkerucut sebagai bentuklahan hasil proses solusional, sedangkan pada bagian Utara merupakan perbukitan bergelombang yang menunjukkan bentuklahan hasil proses struktural.



(a)



(b)

Gambar 4.1. Kondisi Bentuklahan Aktual

(a) Kenampakan bentuklahan pada wilayah penelitian bagian Selatan (lokasi $x=465074$; $y=9113078$) dengan bentuk perbukitan kerucut, sebagai perbukitan hasil proses solusional, Kamera menghadap N 50° E (b) Pada bagian Utara terdapat bentuklahan perbukitan bergelombang hasil proses struktural. (lokasi $x=467896$; $y=9119152$), Kamera menghadap N 80° E (Foto Penulis; Mei 2015)

4.1.3. Tanah

Pada ekosistem karst keberadaan tanah di permukaan menempati porsi yang relatif kecil. Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Pertanian Kabupaten Gunung Kidul dan juga pengamatan lapangan, ketebalan tanah pada daerah penelitian ini kurang dari 50 cm. Adapun jenis tanah pada lokasi penelitian terdiri dari tanah Litosol, latosol, grumusol, mediterania, dan rendzina.

Tanah mediterania yang ada merupakan tanah hasil pelapukan batugamping yang secara umum dikenal sebagai *terra rosa*.



Gambar 4.3. Tanah Mediterania hasil dari pelapukan batugamping, $x=465659$; $y=9111466$. (Foto Penulis; Mei 2015, Kamera Menghadap ke N 160° E)

Pengamatan dan pemetaan kondisi tanah pada lokasi penelitian menggunakan sistem klasifikasi tanah Soeprtohardjo (1961) dengan mempertimbangkan satuan batuan dan kondisi topografi. Setelah mengalami proses pelapukan, batuan sebagai bahan induk akan menghasilkan tanah dengan bahan penyusun yang sama dengan penyusun batuan asal, kemudian mengalami perkembangan maupun pengikisan.

4.1.4. Satuan Batuan

Secara umum satuan batuan yang dominan di daerah penelitian adalah batugamping yang terdapat pada formasi wonosari. Berdasarkan pemetaan batuan yang dilakukan, satuan batuan di daerah penelitian terdiri dari satuan batuan batupasir berlapis dan batugamping terumbu.



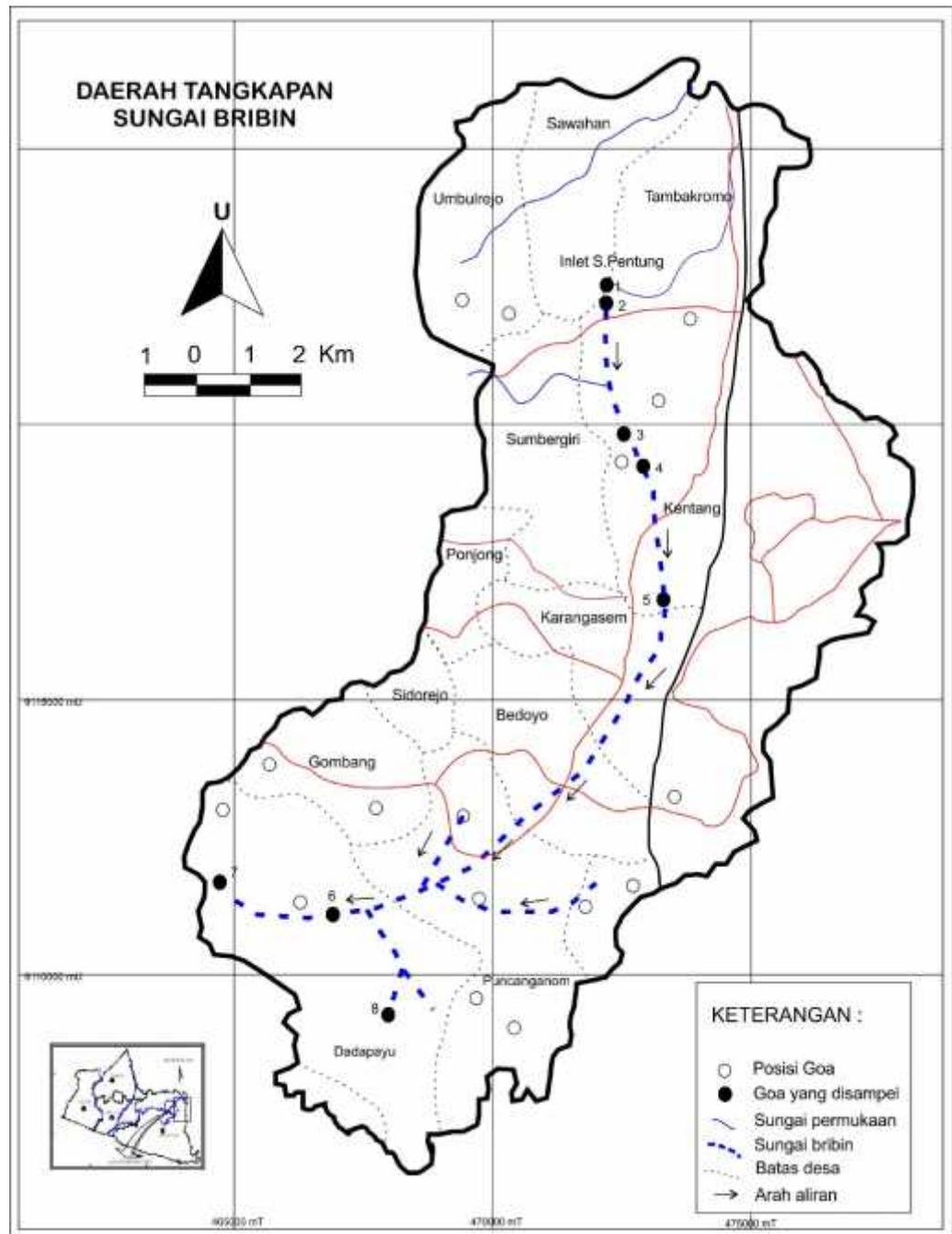
Gambar 4.4. Singkapan Batu Gamping Terumbu Pada Formasi Wonosari

4.1.5. Tata Air

Tata air yang berada di wilayah penelitian meliputi air permukaan dan air bawah permukaan. Air permukaan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau laut. Aliran permukaan terjadi karena air hujan terakumulasi menjadi aliran permukaan, dan umumnya berupa sungai, namun pada daerah karst aliran sungai permukaan meresap dan masuk ke sistem sungai bawah tanah. Sehingga terdapat cadangan air dalam jumlah yang besar pada aliran sungai bawah tanah di daerah ini.

4.1.5.1 Sistem Sungai Bawah Tanah

Pada bagian Utara daerah penelitian terdapat Sungai Pentung yang merupakan sungai permukaan yang menjadi salah satu daerah imbuhan untuk sistem sungai bawah tanah Bribin. Sistem sungai bawah tanah Bribin sebenarnya merupakan bagian dari sistem sungai bawah tanah terbesar di karst Gunung Sewu yaitu sistem sungai bawah tanah Bribin-Baron. Secara khusus, dilihat dari permukaan, daerah tangkapan hujan sungai Bribin pada bagian hulu sistem Bribin-Baron, merupakan bentang alam bertopografi karst dengan ciri khusus berupa ribuan bukit-bukit sisa proses pelarutan yang dikenal dengan kawasan karst Gunung Sewu. Secara umum arah aliran Sungai Bribin adalah Utara-Selatan yang kemudian berbelok kearah Barat daya di sekitar Bedoyo dan keluar sebagai outlet di Goa Bribin. Goa Bribin memiliki debit aliran terbesar yaitu 1500 liter/detik. Terdapat banyak luweng di daerah penelitian yang menjadi tempat masuknya air kedalam sistem sungai bawah tanah. Daerah tangkapan pada sistem sungai Bribin adalah bentang alam karst yang berbentuk *conicall hills* atau bukit berbentuk kerucut.



Gambar 4.4. Peta perkiraan daerah tangkapan Sungai Bribin, sebaran Goa dan sistem jaringan sungainya (Adjie dan Nurjani, 1999)

Dari peta diatas dapat kita lihat sistem sungai bawah tanah Bribin dan sebaran luweng yang menjadi tangkapan sistem sungai bawah tanah yang mencakup daerah penelitian dengan batas sistem sungai bawah tanah Bribin.

4.5.2.2 Instalasi Pengolahan Air Saringan Pasir Lambat Kaligoro

Di desa Dadapayu, Kecamatan Semanu terdapat instalasi pengolahan air menggunakan pasir lambat, berada dekat dengan reservoir air kaligoro yang mendapat suplai air dari Sungai Bawah Tanah Bribin. Instalasi pengolahan air menggunakan saringan pasir lambat ini dibangun untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat di sekitar desa Dadapayu. Berada di atas bukit pada ketinggian 351 m di atas permukaan laut.



Gambar 4.5. Instalasi Pengolahan Air Saringan Pasir Lambat Kaligoro
(x=464818; y= 9109887)

Saringan pasir lambat ini memiliki tiga bak utama untuk menyaring air baku yang berasal dari sungai bawah tanah Bribin. Terdapat saluran outlet yang diparalel menuju 2 tandon bak penampung air hasil penyaringan. Dilengkapi dengan saluran overflow dan satu flowmeter pada inlet saringan pasir lambat.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.6. Komponen instalasi pengolahan air saringan pasir lambat (a) pipa inlet saringan pasir lambat Kaligoro pada lokasi (b) pipa elbow pada bak saringan pasir lambat, plat diffuser, dan pipa *overflow*. (c) pipa outlet saringan pasir lambat menuju bak penampungan air bersih. (d) bak penampung air bersih hasil penyaringan. (Foto Penulis; Mei 2015)

4.5.2.2.1 Dimensi

Kapasitas pengolahan instalasi didirikan berdasarkan ketersediaan air dan penduduk yang akan dilayani. Penduduk dari dusun Sempon Wetan dan Sempon Kulon yang saat ini sedang disediakan di zona Kaligoro merupakan 3,5% dari total populasi. Dengan asumsi total volume input dari $6192 \text{ m}^3 / \text{hari}$ dan kehilangan air 10% dalam pipa transmisi, jumlah air yang akan dikirimkan ke penduduk di dusun Sempon Wetan dan Sempon Kulon adalah $195 \text{ m}^3 / \text{hari}$. Namun, aliran ini tidak konstan dan ditentukan oleh tingkat air di reservoir

Kaligoro. Memperhatikan juga kehilangan air di jaringan distribusi yang diperkirakan mencapai 20% sampai 30%, air sampai pada konsumen sesuai dengan kebutuhan air per kapita per hari sekitar 53 – 61 L/detik. Untuk volume bak penyaringan dapat menampung hingga 125 m³ dengan dimensi bak 5 x 5 m.

4.5.2.2.1 Komponen Filter

Setiap kompartemen filter terdiri dari sebuah kotak yang berisi media pasir, flowmeter, struktur inlet & outlet, sistem drainase, dan tandon air bersih. Kotak filter terdiri dari sebuah struktur persegi panjang terbuat dari beton bertulang. Filter persegi panjang ini memiliki dua dinding pembagi dengan ketebalan 25 cm untuk memisahkan tiga kompartemen penyaring. Total tinggi kotak filter, termasuk lantai, adalah 5 m. dengan volume maksimal per bak saringan pasir adalah 125 m³. Kotak filter harus kedap air untuk mencegah kerugian dan untuk menghindari kontaminasi dari air yang diolah oleh sumber lain.

Struktur inlet bertujuan untuk memungkinkan air mengalir ke filter tanpa merusak permukaan filter. Masing-masing kompartemen filter memiliki 6 inci pipa inlet yang tersedia, dengan katup yang dipasang untuk menerima dan mengatur aliran air baku ke dalam filter. Pipa inlet diakhiri dengan pipa yang sesuai dengan bentuk siku untuk mengarahkan aliran menuju permukaan pasir melewati diffuser sehingga tidak terjadi gangguan pada lapisan atas media pasir.

Kedalaman air di atas lapisan filter memberikan tekanan yang cukup untuk mendorong air baku melalui lapisan filter, sekaligus menciptakan masa penahanan beberapa jam untuk air baku. Kedalaman lapisan air supernatan

adalah 1 m dan harus dijaga konstan selama operasi filter. Sebuah pipa overflow outlet dipasang di setiap kompartemen penyaring untuk mengatasi luapan air supernatant overflow outlet ini juga dapat digunakan untuk menghilangkan sampah dan material terapung lainnya di atas air supernatant.

Lapisan filter mengandung campuran seragam butiran pasir di seluruh kedalamannya. Media filter yang digunakan adalah pasir lava yang digali dari pantai sungai dengan ukuran butir berkisar 0-2 mm. Percobaan laboratorium menunjukkan bahwa ukuran efektif d_{10} adalah 0,299 mm dan koefisien keseragaman C_u adalah 3,5. Setiap unit filter akan memiliki lapisan pasir dengan ketinggian awal 80 cm. Ketebalan minimum dari tempat lapisan filter harus 50 cm. Sistem drainase bawah menyangga lapisan pasir bersamaan dengan mengalirkan bagian bebas dari air yang disaring. Terdiri dari saluran utama dan lateral dibangun dari pipa berlubang. Saluran air ditutupi dengan lapisan kerikil tunggal dengan ukuran mulai 2 - 8 mm. Ketebalan lapisan ini adalah 25 cm. Lapisan kerikil ini berfungsi mencegah pasir saringan masuk dan memblokir drainase bawah. Struktur outlet memungkinkan air yang disaring untuk dialirkan ke luar dari filter dan diangkut ke tangki air jernih. Setiap kompartemen Filter memiliki 6 inci diameter pipa outlet yang tersedia, dengan katup yang terpasang untuk mengontrol dan mengatur laju filtrasi.

Untuk mode operasi yang digunakan pada instalasi saringan pasir lambat ini adalah *intermittent* dimana proses penyaringan dilakukan mulai dari pukul 07.00 dan setiap harinya dan berakhir pada pukul 12.30.

4.1.6. Bencana Alam

Pada wilayah penelitian, bencana yang ada antara lain potensi kekeringan, gempa bumi, erosi, longsor. Pada musim kemarau akan sulit didapatkan air karena daerah karst yang terdapat aliran permukaan. Sebagian warga memanfaatkan sumur bor dan air dari PDAM. Kekritisian air ini menjadi salah satu masalah yang terjadi di daerah penelitian. Bencana alam yang terjadi di daerah penelitian menjadi indikasi dalam proses pengkajian kualitas air sungai bawah tanah. Pada daerah imbuhan dan daerah pengolahannya.

4.2. Komponen Biotis

4.2.1. Flora

Karena kondisi tanah dan juga minimnya air di permukaan, hanya jenis tanaman tertentu saja yang dapat hidup di daerah ini. Hanya tanaman yang memiliki sistem perakaran yang keras serta dapat hidup pada lahan keringlah yang tetap dapat tumbuh pada lahan karst. Flora di lokasi penelitian terutama tanaman-tanaman budidaya yang terletak pada penggunaan lahan berupa kebun dan sawah. Tanaman budidaya lainnya juga ditemukan di area permukiman yang sengaja ditanam di pekarangan warga. Tanaman liar terutama tanaman yang tinggi dan berbatang keras serta semak terdapat pada penggunaan lahan berupa hutan. Jenis tanaman pada daerah ini terdiri dari pohon jati, akasia, mahoni, sonokeling dan sebagainya.



Gambar 4.7. Flora yang Berada Pada Daerah Penelitian Berupa Perkebunan.

Selain itu ada tanaman pangan yang dibudidayakan antara lain padi, ubi kayu, jagung, kedelai, kacang tanah dan sebagainya. Pada Umumnya, untuk tanaman yang sifatnya tahunan dapat hidup di segala musim, meskipun pada musim kemarau daun-daunnya berguguran namun masih tetap bertahan hidup. Sedangkan untuk tanaman pangan yang banyak membutuhkan air, hanya ditanam pada musim hujan saja karena keterbatasan air pada musim hujan.

Pemerintah dan masyarakat Gunung Kidul saat ini memiliki areal hutan rakyat yang dilindungi dan diharapkan tidak berubah fungsi lahannya. Flora yang terdapat pada hutan tersebut terutama pohon jati (*Tectona grandis*), akasia (*Acacia brasiliensis*), dan mahoni (*Swietenia mahogany*) yang lazim digunakan untuk upaya konservasi secara vegetatif. Selain itu terdapat pula tanaman budidaya yang memiliki pohon yang cukup tinggi seperti kelapa, rambutan, manga, dan sebagainya. Adapun jenis-jenis tanaman pada wilayah penelitian disajikan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Jenis Tanaman di Daerah Penelitian

No.	Nama Flora	Nama Latin
1.	Akasia	<i>Acacia brasiliensis</i>
2.	Bambu	<i>Gigantochloa apus</i>
3.	Jagung	<i>Zea mays</i>
4.	Jambu Air	<i>Syzygium aqueum</i>
5.	Jati	<i>Tectona grandis</i>
6.	Kacang tanah	<i>Arachis hypogaea</i>
7.	Kelapa	<i>Cocos nucifera</i>
8.	Lamtoro	<i>Leucaena leucocephala</i>
9.	Lengkuas	<i>Alpinia galangal</i>
10.	Mahoni	<i>Swietenia mahogany</i>
11.	Mangga	<i>Mangifera indica</i>
12.	Melinjo	<i>Gnetum gnemon</i>
13.	Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>
14.	Padi	<i>Oryza sativa</i>
15.	Pepaya	<i>Carica papaya</i>
16.	Pisang	<i>Musa paradisiaca</i>
17.	Rambutan	<i>Nephellium lappacium</i>
18.	Sengon	<i>Albizia chinensis</i>
19.	Singkong	<i>Manihot utilissima</i>
20.	Sukun	<i>Artocarpus communis</i>
21.	Terung	<i>Solanum melongena</i>
22.	Ubi jalar	<i>Ipomoea batatas</i>

Sumber: Survei Lapangan, 2015



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.8. Beberapa Jenis Flora yang Tumbuh di Daerah Penelitian. (a) Jagung (*Zea mays*); (b) Singkong (*Manihot utilissima*); (c) Pohon Jati (*Tectona grandis*); (d) Padi (*Oryza sativa*). (Foto Penulis; Juni 2015)

4.2.2. Fauna

Fauna yang terdapat di lokasi penelitian terutama hewan mamalia berkaki empat dan unggas. Jenis fauna tersebut umumnya dipelihara atau ditenak oleh masyarakat seperti sapi, kambing, itik, dan ayam. Jenis fauna yang ditemui pada lokasi penelitian disajikan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Jenis Hewan di Daerah Penelitian

No.	Nama Fauna	Nama Latin
1.	Anjing	<i>Canis familiaris</i>
2.	Ayam	<i>Gallus gallus</i>
3.	Bebek	<i>Anas platyrhynchos</i>
4.	Itik	<i>Cairina scutula</i>
5.	Kambing	<i>Capra aegagrus</i>
6.	Kelinci	<i>Lepus curpaemus</i>
7.	Kerbau	<i>Bufalos sp.</i>
8.	Kucing	<i>Felis domestica</i>
9.	Sapi	<i>Bos sandaicus</i>
10.	Tikus	<i>Rauvolia serpentine L</i>

Sumber: Survei Lapangan, 2015



(a)



(b)

Gambar 4.9. Beberapa Jenis Fauna yang Hidup di Daerah Penelitian. (a) Sapi (*Bos sandaicus*); (b) Kambing (*Capra aegagrus*). (Foto Penulis; Mei 2015)

4.3. Komponen Sosial

Komponen sosial menggambarkan kondisi masyarakat serta kegiatan tiap harinya. Komponen sosial terdiri dari kondisi demografi, sosial ekonomi, dan sosial budaya. Data komponen sosial ini didapat dari berbagai instansi terkait di

Kabupaten Gunung Kidul. Dalam kesehariannya, kegiatan pertanian dan perkebunan menjadi mata pencaharian utama masyarakat di wilayah penelitian (BAPPEDA Kabupaten Gunung Kidul, 2013).

4.3.1. Kondisi Kependudukan (Demografi)

Jumlah penduduk Kecamatan Ponjong berdasarkan sensus penduduk tahun 201 adalah 5030 jiwa dengan rincian komposisi penduduk berjenis kelamin laki-laki 24196 jiwa dan perempuan 25834 jiwa. Sedangkan pada Kecamatan Semanu berjumlah 59949 jiwa terdiri dari 29557 jiwa berjenis kelamin laki-laki dan 30392 jiwa perempuan.

4.3.2. Sosial Ekonomi

Kecamatan Semanu memiliki sarana pendidikan TK, SD, SMP, dan SLTA masing-masing sebanyak 33 unit, 31 unit, 6 unit, dan 2 unit gedung sekolah. Dilihat kondisi dan tata letaknya fasilitas pendidikan sudah mencukupi kebutuhan. Tetapi masih ada fasilitas pendidikan dengan kondisi yang rusak karena mengalami kerusakan akibat sudah tua dan karena kekurangan siswa sehingga terbengkalai. Terdapat Pasar, Toko, Kios, dan warung pada daerah penelitian Secara lebih jelas dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 4.6. Fasilitas Pendidikan Kecamatan Semanu

Nama Desa <i>Villages</i>	TK	SD <i>Primary school</i>			SLTP <i>Junior high school</i>			SLTA <i>Senior high school</i>			AK/PT <i>University</i>		
		Negeri	Swasta	Jumlah	Negeri	Swasta	Jumlah	Negeri	Swasta	Jumlah	Negeri	Swasta	Jumlah
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1. Pacarejo	8	8	-	8	1	1	2	-	-	-	-	-	-
2. Candirejo	6	6	-	6	1	-	1	-	-	-	-	-	-
3. Dadapayu	4	4	-	4	-	1	1	-	-	-	-	-	-
4. Ngeposari	6	7	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. Semanu	9	6	-	6	1	1	2	1	1	2	-	-	-
Jumlah 2007/ 2008	33	31	-	31	3	3	6	1	1	2	-	-	-
Total 2006/ 2007	33	34	-	34	3	3	6	1	1	2	-	-	-

Sumber : Pemetaan swadaya TIP dan relawan, 2009

Mata pencaharian pokok penduduk di Kecamatan Semanu merupakan petani, buruh tani, pedagang, pengrajin industry kecil, swasta, dan peternak. Ada pula yang bermata pencaharian sebagai TNI, POLRI, Pensiunan PNS/TNI/POLRI, PNS, dan lainnya. Secara lebih jelas dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Mata Pencaharian Pokok Penduduk Kecamatan Semanu

Desa	Jenis Pekerjaan					
	Petani	Buruh Tani	Pedagang	Pengrajin Industri RT/Kecil	Swasta	Peternak
SEMANU	3559	1312	713	117	1036	72
NGEPOSARI	5426	401	232	983	404	1983
PACAREJO	5478	4312	175	64	34	3782
CANDIREJO	1680	210	76	8	78	14
DADAPAYU	3896	1288	99	200	244	9
JUMLAH	20039	7523	1295	1375	1796	5860

Sumber : Kecamatan Semanu Dalam Angka 2013

Mata pencaharian utama masyarakat di wilayah penelitian terdapat di sektor pertanian, baik sebagai petani maupun buruh tani. Menurut data Demografi Kecamatan Semanu tahun 2013, masyarakat dengan mata pencaharian sebagai petani berjumlah 305 jiwa dan sebagai buruh tani yaitu 299 jiwa. Hal lain yang menjadi bukti yaitu dengan keterdapatannya penggunaan lahan berupa sawah tadah hujan dan sawah irigasi sebagai lahan untuk menanam padi.

Selain itu, terdapat pula kebun-kebun yang dikelola masyarakat yang ditanami tanaman seperti kacang tanah, singkong, ubi jalar, dan jagung. Kegiatan bertani ini menghasilkan beberapa pengelolaan lahan pertanian seperti penanaman padi pada lahan datar, ditemukannya teras bangku pada lahan yang miring dengan penggunaan lahan berupa kebun dengan sistem tumpang gilir. Tanaman yang menjadi komoditas terutama jagung, kacang tanah, dan singkong.



Gambar 4.10. Salah Satu Mata Pencaharian Masyarakat Pada Daerah Penelitian
(Foto Penulis; September 2015)

4.3.3. Sosial Budaya

Dalam hal sosial budaya, Kecamatan Semanu dan Ponjong memiliki beberapa fasilitas yaitu fasilitas pendidikan, fasilitas ibadah, ruang terbuka, dan kegiatan budaya. Fasilitas pendidikan yang terdapat di Semanu dan Ponjong meliputi TK, Sekolah Dasar, SMP dan SMA. Kemudian terdapat pula masjid sebagai sarana ibadah, dan lapangan sebagai ruang terbuka hijau, dan tempat berkumpul apabila terjadi kondisi darurat.

Untuk aspek kegiatan budaya, masyarakat kedua Kecamatan ini masih menjunjung tinggi tradisi atau budaya jawa seperti karawitan, reog, laras madyo, kenduren/kondangan di bulan-bulan jawa tertentu (seperti mulud, ruwah, syawal, pasa), tradisi nyadran, selamatan bagi orang yang meninggal dunia, selapan bagi anak yang sudah berumur 35 hari, dan mitoni bagi orang yang sedang mengandung umur 7 bulan, gotong-royong, dan menjenguk orang sakit.



(a)

(b)

Gambar 4.11. Sarana Umum; (a) Masjid sebagai sarana ibadah. (b) Sekolah Dasar sebagai sarana pendidikan. (Foto Penulis; Agustus 2015)

4.3.4. Kesehatan Masyarakat

Kecamatan Semanu dan Ponjong memiliki fasilitas kesehatan, kondisi kesehatan masyarakat di daerah penelitian dapat dilihat dari beberapa indikator seperti keadaan kesehatan, kesehatan lingkungan, dan usaha untuk meningkatkan pelayanan melalui perbaikan fasilitas kesehatan. Kecamatan Semanu memiliki fasilitas kesehatan, seperti adanya puskesmas sebanyak 2 unit, pustu 6 unit, serta dokter praktek 5 unit. Permasalahan yang terjadi antara lain masih adanya gizi buruk dan kurangnya alat alat kegiatan kesehatan.



Gambar 4.12. Sarana Kesehatan Berupa Puskesmas Desa dan Bidan di Kecamatan Semanu. (Foto Penulis; September 2015)

4.3.5. Penggunaan Lahan

Pemanfaatan lahan di Kecamatan Semanu dipergunakan sebagai permukiman dan pertanian. Terdapat pula daerah hutan dan semak belukar. Penutup lahan adalah tutupan biofisik pada permukaan bumi yang dapat diamati merupakan suatu hasil pengaturan, aktivitas, dan perlakuan manusia yang dilakukan pada jenis penutup lahan tertentu untuk melakukan kegiatan produksi, perubahan, ataupun perawatan pada penutup lahan tersebut (SNI 7645:2010). Kelas penutup lahan dibagi menjadi dua bagian besar yaitu daerah bervegetasi dan tak bervegetasi (ISO 19144-1).

Daerah bervegetasi akan memasukkan air ke dalam tanah lebih banyak dibandingkan dengan daerah tak bervegetasi. Daerah tak bervegetasi akan menghasilkan air limpasan lebih banyak. Namun pada daerah karst air hujan yang jatuh ke tanah akan langsung kedalam sistem sungai bawah tanah. Berdasarkan penjelasan tersebut, parameter penutup lahan dan penggunaan lahan berkaitan dengan parameter ketersediaan air. Kondisi penggunaan lahan pada daerah penelitian dapat dilihat pada peta berikut.

BAB V

EVALUASI HASIL PENELITIAN

Evaluasi hasil penelitian merupakan evaluasi terhadap hasil pengolahan data dari hasil sampling yang dilakukan pada daerah imbuhan dan daerah pengolahan Goa Bribin serta monitoring saringan pasir lambat Kaligoro yang bersifat aktual. Data-data parameter hasil sampling dibandingkan dengan baku mutu air minum menurut Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 dan dianalisis secara kuantitatif deskriptif. Hasil akhir analisis dan penelitian berupa arahan pengelolaan di daerah imbuhan dan di sistem saringan pasir lambat Kaligoro.

5.1. Kualitas Air Daerah Imbuhan dan Pengolahan

Dalam penelitian ini parameter kualitas air yang diuji adalah kekeruhan, kandungan bakteri *E.Coli* dan *Total Coliform*. Dari hasil sampling lapangan dan uji laboratorium didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 5.1 Data Hasil Sampling Air Pada Daerah Imbuhan Dan Pengolahan Goa Bribin

Nomor Urut		1	2	Baku Mutu Air Minum PERMENKES 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010
Titik Pengambilan Sampel		Sungai Pentung	Goa Bribin	
Parameter	Satuan			
FISIKA				
Kekeruhan	NTU	23.44	11.6	5
BIOLOGI				
<i>E.Coli</i>	CFU/100ml	130	>2419.6	0
Coliform Total	CFU/100ml	362	>2419.6	0

Sumber: Hasil sampling lapangan & uji lab 2015

Pada daerah imbuhan yaitu di Sungai Pentung yang terdapat di Desa Umbulrejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunung Kidul didapatkan hasil 23,44 NTU pada titik A (Sungai Pentung) dan 11,6 NTU pada titik B (Goa Bribin) untuk parameter kekeruhan air dimana nilai kekeruhan yang diperbolehkan untuk air minum adalah 5 NTU. Selanjutnya untuk parameter kandungan bakteri yaitu *E. Coli* nilai yang didapat pada titik A (Sungai Pentung) adalah 130 CFU / 100 ml sampel dan *Total Coliform* adalah 362 CFU / 100 ml sampel. Pada titik B (Goa Bribin) untuk *E. Coli* adalah > 2419,6 CFU / 100 ml dan untuk *Total Coliform* adalah > 2419,6. Nilai ini berada diatas ambang batas baku mutu air minum menurut Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 dimana nilai kandungan bakteri yang diperbolehkan adalah 0 CFU / 100 ml sampel.

Pada daerah karst terdapat banyak porositas sekunder yang memungkinkan air permukaan masuk langsung kedalam sistem sungai bawah tanah. Pada sistem karst, dikenal dua macam aliran tanah, yakni aliran rembesan (*diffuse flow*) dan aliran saluran (*conduit flow*). Sumber air yang dikontrol oleh *conduit flow* mempunyai resiko tinggi terhadap kontaminasi karena pembuluh-pembuluh yang ada tidak dapat berfungsi sebagai penyaring. Air akan bergerak dengan kecepatan tinggi dalam waktu singkat, serta tanpa mengalami penyaringan atau reaksi dengan mineral. Proses-proses yang semestinya membersihkan air tanah (penyaringan oleh soil, penyerapan kontaminan oleh butiran mineral, dan lain-lain) sering kali tidak terjadi pada *conduit flow* (Mahler & Bennet, 1991). Daerah Gunungsewu menampilkan kondisi hidrogeologi karst yang sangat spesifik. Pengaliran air tanah di daerah ini lebih dominan melalui sistem saluran dan retakan pada akuifer tersebut. Dari hasil penelitian hidrogeologi yang dilakukan oleh Sir MacDonald & Partners (1979), satu-

satunya akuifer yang mempunyai arti penting di daerah Gunungsewu Kabupaten Gunung Kidul adalah batu gamping Formasi Wonosari.

Terdapat beberapa kegiatan manusia yang menjadi salah satu faktor pencemaran air pada sistem sungai bawah tanah brijin, selain aliran permukaan yang masuk langsung melalui goa-goa yang tersebar pada daerah karst tersebut, terdapat pula pencemaran yang terjadi akibat aktifitas manusia yang dilakukan diatas permukaan dari sistem sungai bawah tanah. Terdapat limbah domestik dari perumahan seperti sampah dan septic tank yang langsung dibuang pada lapisan batuan yang berpengaruh langsung pada kualitas air dari sungai bawah tanah. Terdapat pula pasar dan peternakan yang juga beresiko mencemari sungai bawah tanah.

5.2. Kualitas Air dan Efisiensi Penyaringan Saringan Pasir Lambat Kaligoro

Selanjutnya untuk hasil dari monitoring saringan pasir lambat Kaligoro yang dilakukan pengujian pada inlet saringan dan outlet saringan dapat dilihat pada tabel berikut

5.2.1 Hasil Monitoring Kualitas Air SPL Pada Parameter Kekeruhan

Tabel 5.2 Data Monitoring Kekeruhan SPL Kaligoro

No	No Sampel	HLR (L/s)	INLET	OUTLET	Efisiensi Penyaringan
1	P1	1,4	1.83	2.59	-41,53
2	P2	1,4	1.73	0.12	93,06
3	P3	1,4	1.79	0.35	80,45
4	P4	1,4	1.26	0.96	23,81
5	P5	1,4	1.30	0.35	73,08
6	P6	1,4	1.16	1.33	-14,66
7	P7	0,7	1.26	0.50	60,32
8	P8	0,7	0.43	1.32	-206,98
9	P9	0,7	0.79	1.39	-75,95
10	P10	0,7	0.80	1.32	-65,00

No	No Sampel	HLR (L/s)	INLET	OUTLET	Efisiensi Penyaringan (%)
11	P11	0,7	1.35	0.99	26,67
12	P12	0,7	0.69	1.38	-100,00
13	P13	0,7	0.35	0.58	-65,71
14	P14	0,7	1.19	0.88	26,05
15	P15	0,7	0.75	1.07	-42,67
16	P16	0,7	7.89	2.95	62,61
17	P17	0,7	3.65	3.14	13,97
18	P18	0,7	5.38	1.53	71,56
19	P19	0,7	3.18	3.63	-14,15
20	P20	0,7	5.04	1.6	68,25
21	P21	0,7	7.11	2.63	63,01
22	P22	0,7	9.93	2.21	77,74
23	P23	0,7	0.9	1.57	-74,44
24	P24	0,7	0.82	0.2	75,61
25	P25	0,7	0.93	0.83	10,75
26	P26	0,7	1.38	1.14	17,39
27	P27	0,7	2.11	1.07	49,29
28	P28	0,7	1.2	0.7	41,67
29	P29	0,7	0.89	0.4	55,06
30	P30	0,7	1.5	0.65	56,67
Rata-rata			2,28	1,31	

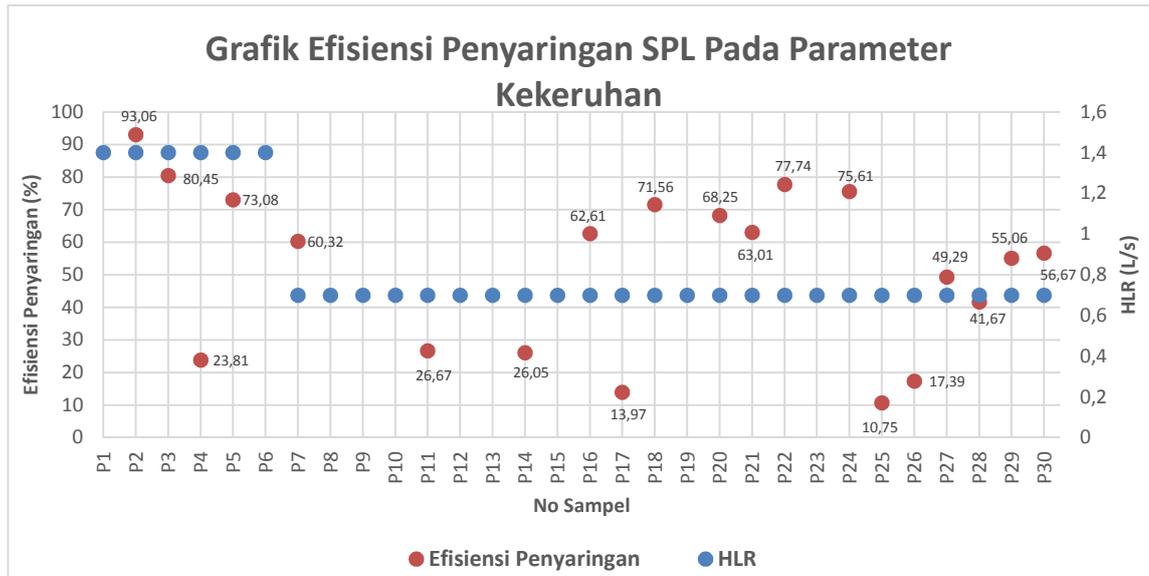
Dari data monitoring kekeruhan didapatkan hasil nilai rata – rata pada inlet adalah 2,29 NTU dan pada outlet 1,31 NTU dimana menurut baku mutu air minum menurut Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 nilai kekeruhan yang diperbolehkan adalah 5 NTU.

Kemudian dilakukan pula pengaturan HLR pada kecepatan 1,4 L/s mulai dari hari pertama hingga hari ke-6 lalu dilakukan pengaturan HLR menjadi 0,7 L/s pada hari ke-7 hingga hari ke-30. Hal ini dilakukan karena melihat hasil pada kualitas kandungan bakteri pada outlet yang masih cukup tinggi, sehingga dilakukan penurunan HLR menjadi 0,7 L/s. Menurut Silva (2010) menurunkan

HLR dapat mengoptimalkan proses pendegradasian yang terjadi pada media penyaring, sehingga hasil yang didapatkan bisa lebih baik. Pada hari ke-16, 18, 20, 21 nilai kekeruhan pada inlet melewati batas baku mutu, namun pada outlet setelah melewati saringan, nilai kekeruhan menurun dibawah batas baku mutu.

Nilai kekeruhan pada inlet sangat dipengaruhi oleh kualitas air baku yang berasal dari reservoir Kaligoro. Dimana kekeruhan yang tinggi berasal dari kondisi hulu sungai bawah tanah yang dapat dipengaruhi oleh musim. Peneliti melakukan monitoring pada saat musim kemarau sehingga kualitas kekeruhan air baku berada pada nilai yang relatif rendah. Fluktuasi yang terjadi pada nilai efisiensi pengolahan menggunakan saringan pasir lambat untuk menghilangkan kekeruhan juga dipengaruhi oleh HLR dan kecepatan aliran yang tidak stabil karena pengukuran kecepatan aliran dilakukan secara manual pada outlet tanpa bantuan flowmeter.

Silva (2010) & Kiky (2011) menjelaskan bahwa dari hasil percobaan yang dilakukan, penyaringan menggunakan saringan pasir lambat dapat mengurangi kekeruhan hingga 99% pada percobaan dengan skala laboratorium. Kali ini penelitian dilakukan dengan skala lapangan dan merupakan pengoperasian perdana dari Bak 2 Saringan Pasir Lambat Kaligoro sehingga menyebabkan pasir yang ada di lokasi/kaligoro belum mencapai tingkat kematangan yang sempurna.



Gambar 5.1 Grafik Efisiensi Penyaringan SPL Pada Parameter Kekерuhan

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa efisiensi penyaringan Saringan Pasir Lambat Kaligoro pada parameter kekерuhan berada pada range nilai 10,75 % - 93,06 % dimana terdapat nilai efisiensi minus yang tidak di plotkan pada grafik. Nilai minus ini menunjukkan bahwa ada beberapa nilai yang tidak valid yang disebabkan oleh *human error / technical error*.

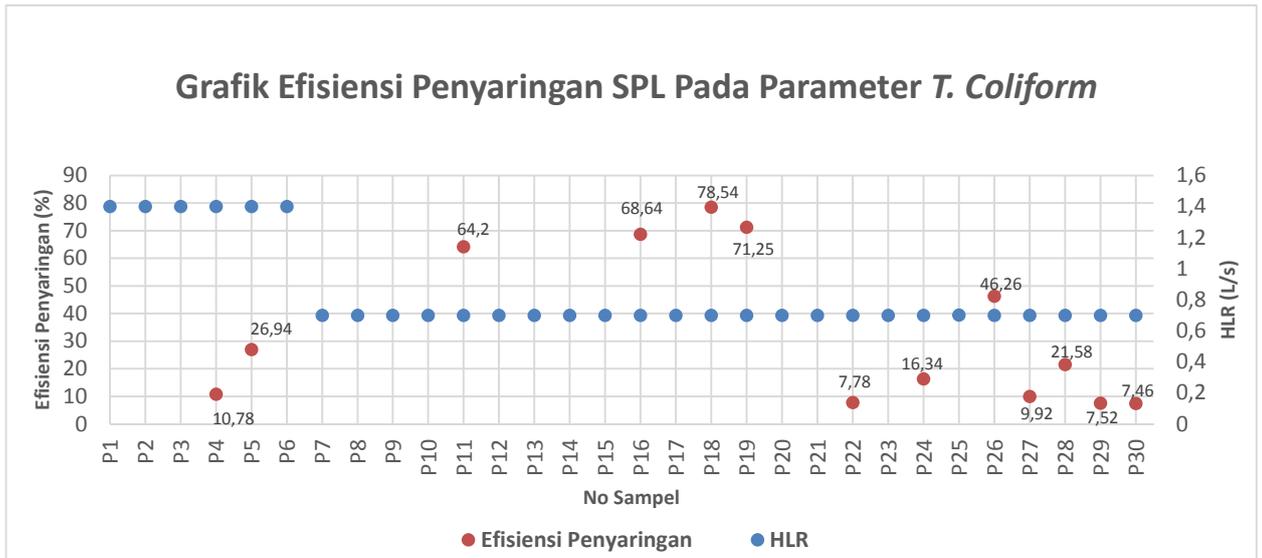
5.2.2 Hasil Monitoring Kualitas Air SPL Pada Parameter *T. Coliform*

Tabel 5.3 Data Monitoring Bakteri *Total Coliform* SPL Kaligoro

No	No Sampel	HLR (L/s)	INLET	OUTLET	Efisiensi Penyaringan
1	P1	1.4	>2419.6	>2419.6	-
2	P2	1.4	>2419.6	>2419.6	-
3	P3	1.4	>2419.6	>2419.6	-
4	P4	1.4	5938	5298	10,78
5	P5	1.4	16070	11740	26,94

No	No Sampel	HLR (L/s)	INLET	OUTLET	Efisiensi Penyaringan
6	P6	1.4	10960	12040	-90,79
7	P7	0.7	11300	20240	-139,65
8	P8	0.7	10580	11260	-362,82
9	P9	0.7	19180	34460	-79,67
10	P10	0.7	3950	10340	-161,77
11	P11	0.7	14300	5120	64,20
12	P12	0.7	-	-	-
13	P13	0.7	-	-	-
14	P14	0.7	-	-	-
15	P15	0.7	3360	14740	-338,69
16	P16	0.7	8260	2590	68,64
17	P17	0.7	2430	4870	-100,41
18	P18	0.7	6290	1350	78,54
19	P19	0.7	13740	3950	71,25
20	P20	0.7	3930	5390	-37,15
21	P21	0.7	2890	14450	-400,00
22	P22	0.7	836	771	7,78
23	P23	0.7	2230	3724	-67,00
24	P24	0.7	3255	2723	16,34
25	P25	0,7	1220	3170	-159,84
26	P26	0,7	2270	1220	46,26
27	P27	0.7	3730	3360	9,92
28	P28	0.7	2410	1890	21,58
29	P29	0.7	2260	2090	7,52
30	P30	0.7	2280	2110	7,46
Rata-rata			5364,26	6205,16	

Selanjutnya pada parameter biologi yaitu *Total Coliform* didapatkan hasil pengukuran dimana kandungan bakteri *Total Coliform* pada inlet maupun outlet saringan diatas nilai baku mutu air minum berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 yaitu 0 CFU / 100ml sampel. Pengujian sampel dilakukan di laboratorium kontainer KIT RSUD Wonosari. Proses pengujian dilakukan dengan mendilusi air sampel dari inlet dan outlet menggunakan aquades. Pada hari pertama dilakukan pengujian awal dengan perbandingan dilusi 1 : 10 menggunakan aquades botol. Namun hasil yang didapatkan tidak valid, selanjutnya pada hari ke-2 hingga ke 5 dilakukan pendilusian dengan perbandingan 1 : 100 menggunakan aquades botol. Namun hasil yang didapatkan tetap tidak valid. Lalu dilakukan pengujian sampel aquades botol dan menunjukkan adanya kandungan bakteri pada aquades sebesar >2419,6 CFU / 100 ml yang seharusnya adalah 0 CFU / 100 ml. Selanjutnya sampel didilusi menggunakan air saringan IPA RSUD Wonosari yang bebas bakteri dengan perbandingan 1 : 200 hingga hari ke-30.



Gambar 5.2. Grafik Efisiensi Penyaringan SPL Pada Parameter *Total Coliform*

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa efisiensi penyaringan Saringan Pasir Lambat Kaligoro pada parameter *Total Coliform* berada pada range nilai 7,46 % - 78,54 % dimana terdapat nilai efisiensi minus yang tidak di plotkan pada grafik. Nilai minus ini menunjukkan bahwa ada beberapa nilai yang tidak efisien yang disebabkan oleh *human error / technical error*.

Yogafanny (2011) menjelaskan bahwa saringan pasir lambat dapat menghilangkan kandungan bakteri hingga 99% dilakukan pada skala laboratorium. Namun penelitian kali ini dilakukan pada skala lapangan yang juga merupakan *pilot project* Saringan Pasir Lambat Kaligoro di Desa Dadapayu, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunung Kidul. Jarak tempuh RSUD Wonosari sebagai lokasi pengujian sampel air menuju Instalasi Saringan Pasir Lambat di Desa Dadapayu kurang lebih 30 menit, berdasarkan sistem operasi *intermittent* seharusnya intsalasi ini dioperasikan secara *batch* atau dapat diartikan dinyalakan pada pagi hari dan dimatikan pada sore hari. Tidak adanya flowmeter pada outlet menyebabkan terjadinya fluktuasi debit pada aliran keluaran hasil

penyaringan pada sistem saringan pasir lambat. Berdasarkan Yogafanny (2011) HLR sangat mempengaruhi hasil saringan air pada outlet, ketika tidak terdapat *flowmeter* pada outlet dapat dipastikan terjadi fluktuasi HLR yang menyebabkan hasil menjadi buruk dan tidak valid. Mengingat kondisi saringan pasir lambat saat ini tidak menunjang untuk menghasilkan kualitas air hasil saringan yang baik, dapat dipastikan terjadi fluktuasi HLR yang menyebabkan hasil menjadi buruk dan tidak valid. Yogafanny juga menjelaskan bahwa *flowrate* sangat memegang peranan penting dalam menghasilkan kualitas air yang baik pada proses saringan pasir lambat terutama metode *intermittent*.

Penelitian kali ini merupakan skala lapangan dalam proses penyaringan menggunakan saringan pasir lambat dimana perubahan yang terjadi pada *flowrate* dapat sangat mempengaruhi kualitas air hasil penyaringan. Selain itu penelitian ini merupakan pengoperasian perdana pada bak saringan pasir lambat 2 kaligoro sehingga pasir yang ada di bak penyaringan belum memiliki lapisan biolayer yang sempurna. Adanya lapisan ini dipermukaan pasir ditentukan oleh lamanya saringan pasir lambat ini beroperasi, semakin lama saringan pasir lambat dioperasikan semakin matang pasir dan lapisan biofilm yang tumbuh semakin baik.

5.2.3 Hasil Monitoring Kualitas Air SPL Pada Parameter *E. Coli*

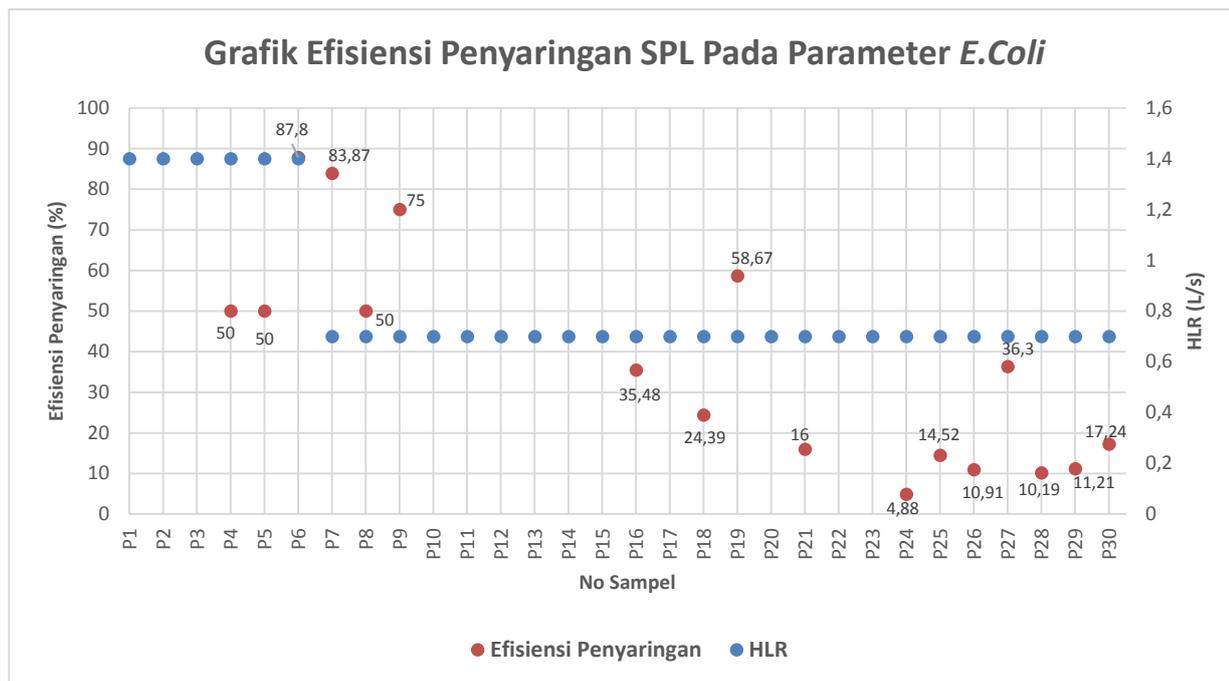
Tabel 5.4 Data Monitoring Bakteri *E. Coli* SPL Kaligoro

No	No Sampel	HLR (L/s)	INLET	OUTLET	Efisiensi Penyaringan
1	P1	1.4	630	225.8	-1,29
2	P2	1.4	860	663	-206,94
3	P3	1.4	730	310	-55,00
4	P4	1.4	630	520	50,00
5	P5	1.4	510	410	50,00
6	P6	1.4	820	100	87,80
7	P7	0.7	620	100	83,87
8	P8	0.7	200	100	50,00
9	P9	0.7	800	200	75,00
10	P10	0.7	620	1500	-141,94
11	P11	0.7	1260	2440	-93,65
12	P12	0.7	-	-	-
13	P13	0.7	-	-	-
14	P14	0.7	-	-	-
15	P15	0.7	1750	1890	-8,00
16	P16	0.7	310	200	35,48
17	P17	0.7	310	520	-67,74
18	P18	0.7	410	310	24,39
19	P19	0.7	750	310	58,67
20	P20	0.7	630	850	-34,92
21	P21	0.7	750	630	16,00
22	P22	0.7	135	218	-61,48
23	P23	0.7	520	200	61,54
24	P24	0.7	512	487	4,88

No	No Sampel	HLR (L/s)	INLET	OUTLET	Efisiensi Penyaringan
25	P25	0.7	3100	2650	14,52
26	P26	0.7	1100	980	10,91
27	P27	0.7	1350	860	36,30
28	P28	0.7	1080	970	10,19
29	P29	0.7	1070	950	11,21
30	P30	0.7	1160	960	17,24
Rata-rata			753,9	666,4	

Pada parameter bakteri E.Coli juga didapatkan hasil yang cukup buruk. Dimana rata-rata nilai kandungan bakteri berada diatas baku mutu air minum berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/MENKES/ PER/ IV/ 2010 yaitu 0 CFU / 100 ml sampel. Hal ini menunjukkan kualitas outlet masih berada diatas baku mutu air minum.

Pada parameter kandungan bakteri *E. Coli*, Yogafanny (2011) menjelaskan bahwa saringan pasir lambat dapat menghilangkan kandungan bakteri hingga 99% dilakukan pada skala laboratorium. Pada penelitian kali ini penelitian dilakukan dalam skala lapangan atau *pilot project*. Hasil penyaringan menggunakan saringan pasir lambat dimana perubahan yang terjadi pada flowrate dapat sangat mempengaruhi kualitas air hasil penyaringan. Selain itu penelitian ini merupakan pengoperasian perdana pada bak saringan pasir lambat 2 kaligoro sehingga pasir yang ada di bak penyaringan belum mencapai tingkat kematangan yang sempurna.



Gambar 5.3 Grafik Monitoring SPL Pada Parameter *E. Coli* Saringan

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa efisiensi penyaringan Saringan Pasir Lambat Kaligoro pada parameter *E. Coli* berada pada range nilai 4,88 % - 87,8 % dimana terdapat nilai efisiensi minus yang tidak di plotkan pada grafik. Nilai minus ini menunjukkan bahwa ada beberapa nilai yang tidak efisien yang disebabkan oleh *human error / technical error*.

Dari hasil kegiatan monitoring kualitas air menggunakan saringan pasir lambat dapat dilihat bahwa efisiensi Saringan Pasir Lambat Kaligoro tidak optimal dan tidak dapat ditarik kesimpulan. Hal ini disebabkan oleh hasil penyaringan yang masih berada diatas kualitas air pada inlet penyaringan. Proses *intermittent*, jumlah bakteri pada inlet dan flowrate yang tidak stabil juga dapat menjadi salah satu penyebab efisiensi penyaringan yang fluktuatif. Sehingga tidak dapat dijadikan acuan yang valid untuk menarik kesimpulan mengenai efisiensi penyaringan menggunakan Saringan Pasir Lambat

Kaligoro. Mengingat penelitian ini merupakan *pilot project* dari IWRM dimana keadaan awal dari saringan pasir lambat tidak mendukung dan masih belum bisa memenuhi standar operasi dari saringan pasir lambat tersebut. Sehingga perlu diadakannya penelitian lanjutan terkait dengan efisiensi Saringan Pasir Lambat Kaligoro ini.

Hasil yang kurang valid dari penyaringan air menggunakan saringan pasir lambat kaligoro ini salah satunya disebabkan oleh belum matangnya lapisan biofilm yang terdapat di atas permukaan media pasir yang digunakan. Semakin tinggi nilai kandungan bakteri yang terdapat pada inlet saringan pasir lambat maka semakin tinggi pula efisiensi yang dapat dihasilkan. Hal ini berkaitan dengan banyaknya organisme yang terakumulasi pada lapisan biofilm yang berada diatas media pasir saringan pasir lambat. Perlu dilakukan proses pematangan Saringan Pasir Lambat lebih lama sehingga lapisan biofilm pada media penyaringan dapat terbentuk sempurna.



Gambar 5.4 Skema Sistem Saringan Pasir Lambat Kaligoro

5.3 Keadaan Lapangan dan Kendala Dalam Pengoperasian Saringan Pasir Lambat Kaligoro Dalam Penelitian

Lokasi Saringan Pasir Lambat Kaligoro berada di Kecamatan Semanu tepatnya di Desa Dadapayu. Instalasi pengolahan air ini berada diatas bukit dengan ketinggian 351 m diatas permukaan laut. Jarak antara saringan pasir lambat dengan laboratorium KIT yang berada di RSUD Wonosari adalah 17 km dan dapat ditempuh dalam waktu 20 menit. Kemudian dilanjutkan dengan treking jalan setapak selama 10 menit menuju saringan pasir lambat Kaligoro. Saringan pasir lambat ini dioperasikan dengan metode *intermittent* atau bertahap dengan waktu pengoperasian mulai pukul 07.00 - 13.30. Kemudian dioperasikan kembali keesokan harinya pada pukul 07.00. Pengujian laboratorium dilakukan pada pukul 15.00 dan pengambilan uji sampel pada pukul 09.00 setiap harinya.

Berdasarkan kegiatan monitoring yang dilakukan oleh penulis selama satu bulan pada daerah penelitian. Penulis mengalami beberapa kendala seperti jarak dan waktu tempuh dari instalasi saringan pasir lambat yang cukup jauh dan medan yang dilalui untuk mengambil sampel air pada saringan pasir lambat. Minimnya keamanan dan instalasi saringan yang masih belum layak sebaiknya menjadi masukan bagi PDAM dan DPU untuk segera membenahi instalasi ini. Untuk pengukuran debit pun penulis melakukan dengan cara manual menggunakan ember karena belum adanya alat pengukur debit (*flow meter*) pada pipa outlet. Hal ini membuat hasil dari kualitas outlet tidak presisi. Terdapat beberapa sambungan pipa yang bocor pada instalasi ini juga dapat mempengaruhi hasil dari nilai kualitas air pada outlet. Selain itu perlunya penutup pada bak saringan pasir untuk menghindari daun atau binatang yang dapat jatuh kedalam bak dan dapat mempengaruhi kualitas outlet.

BAB VI

ARAHAN PENGELOLAAN

Arahan pengelolaan dimaksudkan sebagai bentuk tindak lanjut dari kajian kualitas air sungai bawah tanah pada daerah imbuhan dan daerah pengolahan air Goa Bribin. Cakupan wilayah penelitian adalah daerah aliran sungai bawah tanah Bribin pada daerah imbuhan dan pengolahannya sehingga pengelolaannya lebih ditekankan pada arahan konservasi daerah imbuhan dan daerah pengolahannya, juga pada daerah pengolahannya juga dapat dilakukan renovasi perbaikan, penambahan, dan penyempurnaan untuk instalasi pengolahan air menggunakan saringan pasir lambat kaligoro.

6.1. Arahan Konservasi Daerah Imbuhan Dan Pengolahan Aliran Sungai Bawah Tanah Bribin Dan Daerah Karst.

Untuk menghindari terjadinya kerusakan lingkungan karst yang dapat berakibat pada terganggunya sistem airtanah di daerah karst, maka perlu dilakukan tindakan-tindakan penyelamatan antara lain perlu pengawasan melekat yang dapat dilakukan oleh pihak-pihak berwenang, terhadap pengambilan batugamping di daerah karst secara tidak terkendali. Untuk mempertahankan cadangan air pada daerah karst, perlu upaya tetap menjaga keberadaan lapisan impermeabel di tempat-tempat akumulasi air, mencegah terjadinya kebocoran telaga, luweng dan gua. Tidak sembarangan memperdalam telaga. Dapat juga dibuat *artificial* telaga, menyumbat atau membendung gua-gua yang bocor. Jika perlu dapat dibangun bendungan di daerah-daerah penurapan airtanah ke laut, untuk menghadang laju air bersih yang terbuang

sia-sia ke samudera. Manajemen airtanah perlu, guna menghindari bencana kekeringan, dan dampak-dampak negatif akibat kekeliruan dalam pengambilannya.

Untuk melestarikan lahan karst, penghijauan dapat dilaksanakan dengan memilih tumbuhan yang memiliki sifat *poikilohidrik*, mampu melindungi tanah terhadap erosi, mudah tumbuh, berakar panjang dengan daya tembus besar, berumur panjang, daya penguapan rendah, dan memiliki nilai ekonomis.

Pengelolaan kawasan karst, pada dasarnya bertujuan menjaga agar daya dukung lahan tersebut bertahan lama. Agar bertahan lama, maka lingkungannya tidak boleh rusak, pemanfaatannya harus efisien, dan konservasinya harus efektif. Beberapa tindakan yang dapat dilakukan dalam rangka pengelolaan karst antara lain sebagai berikut :

- Mengefektifkan peran teknologi untuk pengambilan air sungai-sungai bawah tanah.
- Membuat bak-bak tadah hujan, sebagai cadangan di musim kering.
- Menjaga kelestarian telaga untuk cadangan air di musim kering
- Mencegah pencemaran di hulu-hulu sungai bawah tanah, Karena dampaknya akan tetap terbawa hingga bagian hilir.
- Mengontrol dan membatasi penambangan batugamping untuk menjaga sistem hidrologi

6.2. Arahan Pengelolaan Instalasi Pengolahan Air Aliran Sungai Bawah Tanah Bribin.

Dari penelitian yang telah dilakukan masih terdapat banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan pada kualitas air hasil monitoring. Peneliti menemukan banyak hal-hal yang perlu dibenahi mulai dari instalasi letak sistem pipa inlet dan outlet, standar konfigurasi lapisan media pasir yang digunakan, sistem operasi saringan pasir lambat, dan penambahan flowmeter pada pipa outlet.

Terdapat 3 hal yang perlu dioptimalkan pada saringan pasir lambat Kaligoro. Yang pertama adalah letak dari pipa outlet. Untuk keadaan saat ini pipa outlet terletak jauh di bawah lapisan media pasir saringan pasir lambat. Hal ini dapat menyebabkan debit aliran pada outlet yang cukup besar sehingga sulit untuk mengatur debit keluaran yang ideal untuk mencapai hasil outlet yang baik. Debit aliran outlet yang terlalu besar dapat mempengaruhi kualitas air hasil penyaringan.

Seharusnya letak outlet tidak berada terlalu jauh dari lapisan pasir yang paling bawah pada bak saringan pasir. Hal ini bertujuan agar aliran debit pada outlet dapat diatur dan distabilkan sehingga aliran outlet pada saringan pasir lambat Kaligoro dapat stabil dan menghasilkan kualitas air hasil penyaringan yang baik.

Untuk instalasi pipa seharusnya dipasangkan flowmeter pada bagian pipa outletnya, flowmeter ini berfungsi untuk mengatur debit aliran pada outlet. Karena pada proses penyaringan menggunakan saringan pasir lambat, laju filtrasi sangat berpengaruh pada kualitas hasil penyaringan air. Juga untuk efisiensi pengoperasian menggunakan mode operasi intermittent sebaiknya dilakukan pemasangan *automatic valve* untuk initial filling dan pausing process.



Gambar 6.1. Sistem Otomatisasi (a) Digital Flow (Sumber: <http://chine-ogpe.com>)
 (b) Automatic Water Valve (Sumber: <http://www.singervalve.com>)

Pada media pasir yang digunakan harus dilakukan pencucian terlebih dahulu untuk semua material yang akan dijadikan media penyaringan agar tidak ada kontaminan yang dapat mempengaruhi hasil penyaringan. Media pasir yang digunakan adalah pasir yang sangat halus dan seragam. Berikut adalah persyaratan teknis yang harus dipenuhi perencanaan instalasi saringan pasir lambat.

Persyaratan teknis memenuhi kriteria sebagai berikut :

- a) kecepatan penyaringan 0,1 m/jam sampai dengan 0,4 m/jam.
- b) luas permukaan bak dihitung dengan rumus :

$$A = \left(\frac{Q}{V} \right) \dots\dots\dots 1)$$

dengan:

Q = Debit air baku (m^3/jam)

V = Kecepatan penyaringan (m/jam)

A = Luas permukaan bak (m^2)

- c) Luas permukaan bak (A) = $P \times L$ 2)

- d) Panjang bak (P) : lebar bak (L) = (1 sampai dengan 2) : 1..... 3)

- e) Jumlah bak minimal 2 buah

f) Kedalaman bak, seperti pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Kedalaman Saringan Pasir Lambat

No.	Kedalaman (D)	Ukuran (m)
1	Tinggi bebas (<i>freeboard</i>)	0,20 s.d 0,30
2	Tinggi air di atas media pasir	1,00 s.d 1,50
3	Tebal pasir penyaring	0,60 s.d 1,00
4	Tebal kerikil penahan	0,15 s.d 0,30
5	Saluran pengumpul bawah	0,10 s.d 0,20
	Jumlah	2,05 s.d 3,30

g) Media penyaring dengan kriteria sebagai berikut :

- 1) jenis pasir yang mengandung kadar SiO₂ lebih dari 90 %;
- 2) diameter efektif (*effective size - ES*) butiran 0,2 mm sampai dengan 0,4 mm;
- 3) koefisien keseragaman (*uniformity coefficient - UC*) butiran 2 sampai dengan 3;
- 4) cara menentukan ES dan UC sebagai berikut:

(a) $ES = P_{10}$ 4)

(b) $UC = \left(\frac{P_{60}}{P_{10}} \right)$ 5)

dengan:

ES = Diameter efektif butiran pasir.

UC = Koefisien keseragaman butiran pasir.

60 P = butiran pasir efektif terkecil.

10 P = butiran pasir efektif terbesar

- 5) berat jenis 2,55 gr/cm³ sampai dengan 2,65 gr/cm³ ;
- 6) kelarutan pasir dalam air selama 24 jam kurang dari 3,0 % beratnya;
- 7) kelarutan pasir dalam HCl selama 4 jam kurang dari 3,5 % beratnya

h) Media penahan

Jenis kerikil tersusun dengan lapisan teratas butiran kecil dan berurutan ke butiran kasar pada lapisan paling bawah; gradasi butir media kerikil dapat dilihat pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Gradasi Butir Media Krikil

No.	Diameter kerikil rata-rata (mm)	Ketebalan (cm)	Lapisan ke (dari atas ke bawah)
1	3 s.d 4	5 s.d 10	ke - 1
2	10 s.d 30	10 s.d 20	ke - 2
Total ketebalan media kerikil		15 s.d 30	

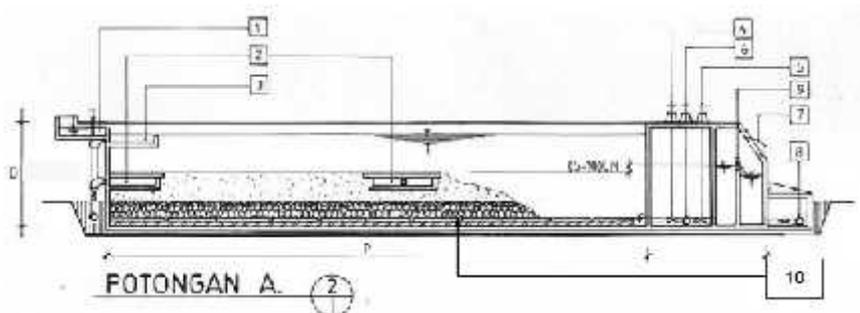
i) Air baku dengan ketentuan sebagai berikut :

- 1) Kekeruhan 50 mg/Liter SiO₂
- 2) Oksigen terlarut • 6 mg/Liter,
- 3) Total koliform 500 MPN per 100 mL.

j) Perlengkapan bak saringan

1) Saluran masukan (*Inlet*) ditentukan sebagai berikut :

(a) saluran tertutup atau terbuka dapat dilihat pada Gambar 6.2



Gambar 6.2 Intalasi Saringan Pasir Lambat

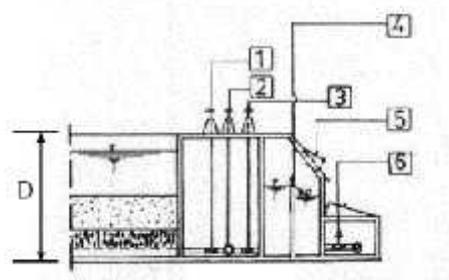
Keterangan:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Saluran masukan(<i>inlet</i>). | 6. Katup pengatur untuk pengisian bak dari bawah. |
| 2. Penguras. | 7. Pintu untuk memeriksa debit pada alat ukur efluen. |
| 3. Pelimpah | 8. Pipa <i>filtrate</i> ke reservoir. |
| 4. Katup keluran(<i>outlet</i>). | 9. Alat ukur debit <i>filtrate</i> |
| 5. Katup keluran (<i>outlet</i>). | 10. Saluran pengumpul bawah (<i>underdrain</i>) |

- (b) dilengkapi dengan bak pembagi atau penenang air baku;
- (c) dilengkapi dengan katup (*check valve*) untuk saluran tertutup dan pintu air ditambah sekat ukur untuk saluran terbuka;
- (d) dilengkapi dengan penahan cucuran air baku di atas pasir penyaring supaya tidak merusak permukaan pasir.

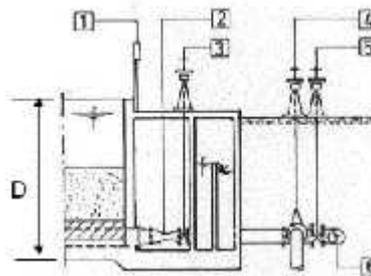
2) Saluran keluaran (*Outlet*) ditentukan sebagai berikut :

- (a) saluran tertutup dapat dilihat pada Gambar 6.3.(a) dan Gambar 6.3.(b) ;



(a)

1. Kran Sistem Outlet
2. Kran Untuk Mengatur Pengisian Bak Dari Bawah
3. Kran Sistem Outlet
4. Alat Ukur
5. Pintu Pemeriksa Debit Air
6. Kran Dan Pipa Filtrat Ke Reservoir



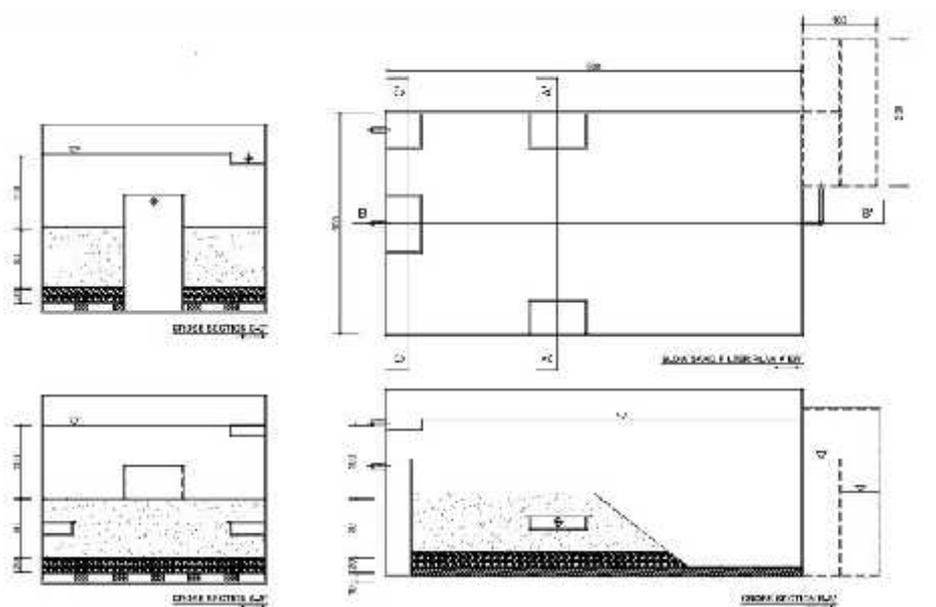
(b)

1. Indikator Debit Filtrat
2. Venturi Meter
3. Kran Pengatur Debit Filtrat
4. Kran Pengatur Pengisian Bak Dari Bagian Bawah
5. Kran Pengatur Filtrat Ke Reservoir
6. Pipa Penyalur Filtrat Ke Reservoir

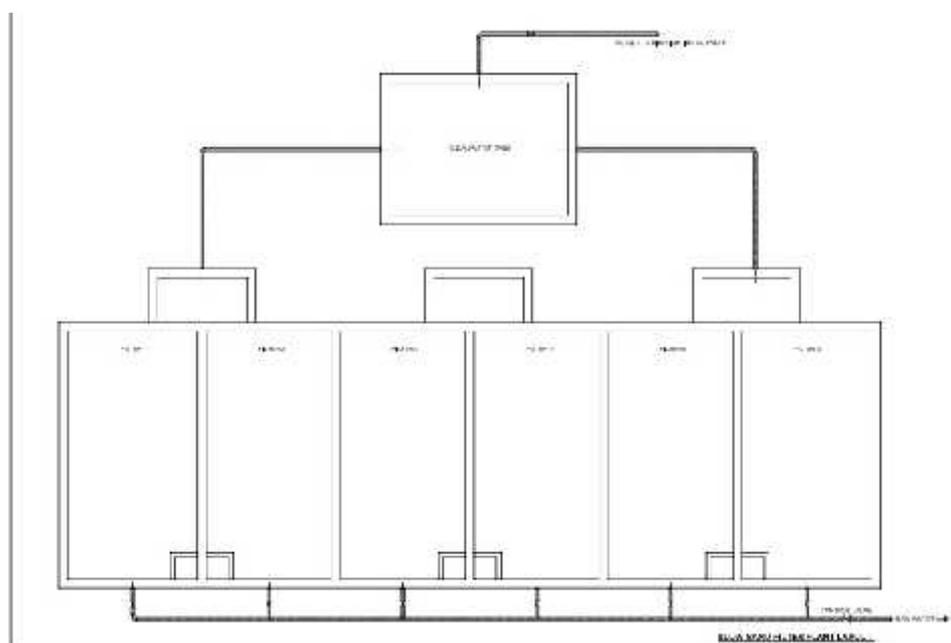
Gambar 6.3 Intalasi Saringan Pasir Lambat

- (b) dilengkapi dengan katup pengatur debit efluen;
- (c) dilengkapi dengan alat ukur debit;
- (d) dilengkapi dengan sistem perpipaan yang dapat mengalirkan air olahan;

(e) dilengkapi dengan bak penampung air olahan dengan muka air di atas permukaan media penyaring 50 mm sampai dengan 100 mm;

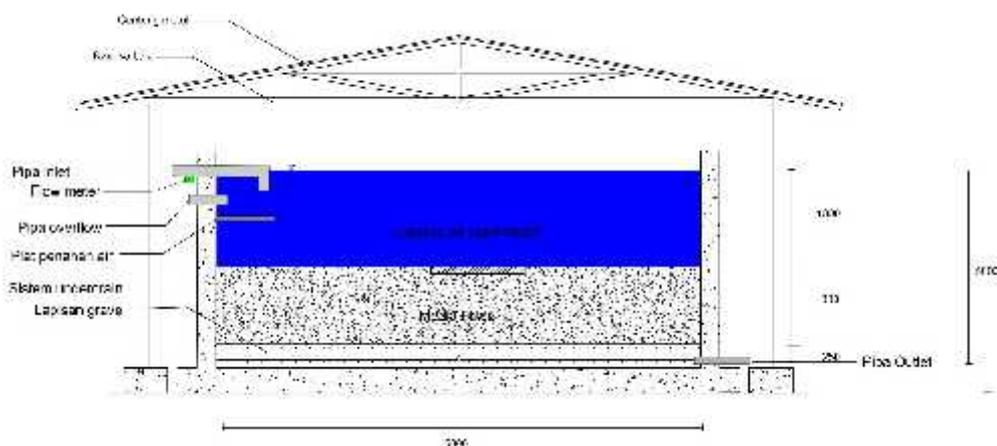


Gambar 6.4 Desain Konseptual Bak Saringan Pasir Lambat Kaligoro (Fathul, 2012)

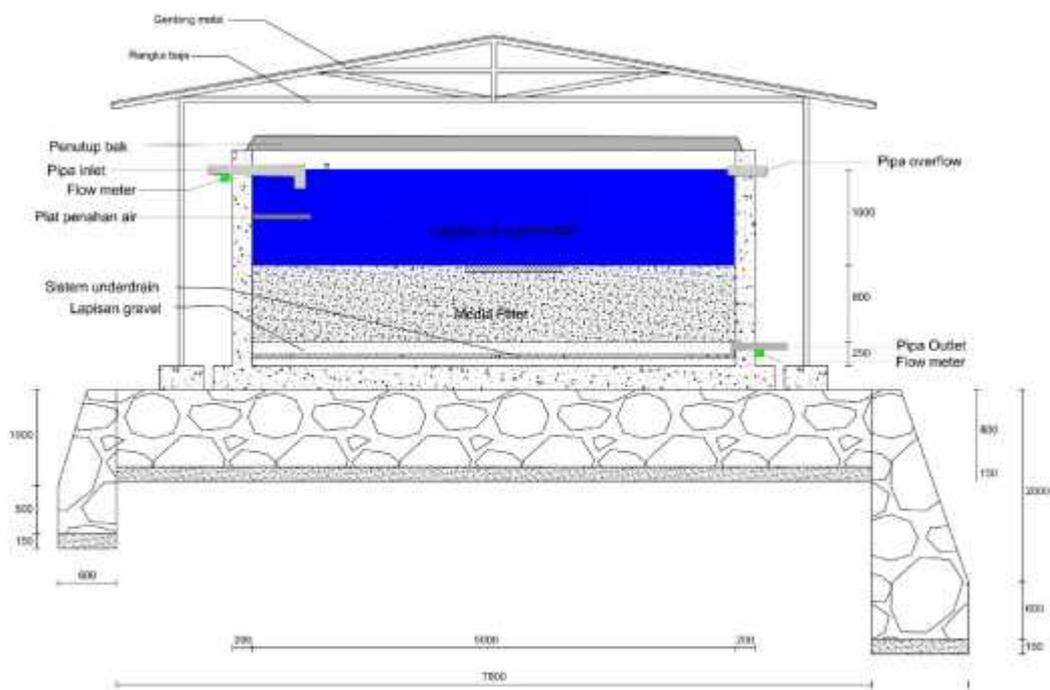


Gambar 6.5 Desain Konseptual Sistem Saringan Pasir Lambat Kaligoro (Fathul, 2012)

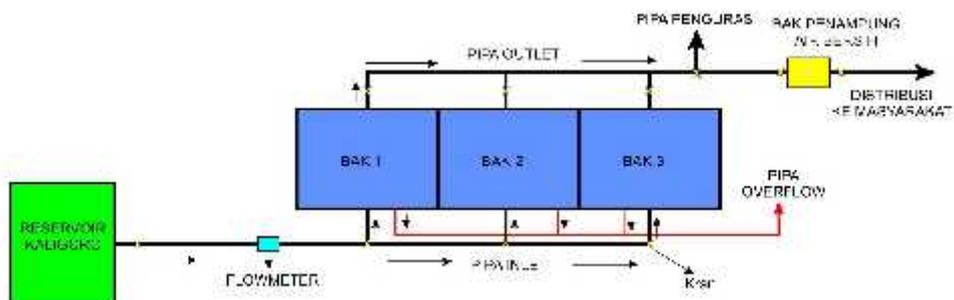
Dari hasil penelitian penulis memiliki beberapa masukan untuk PDAM mengenai instalasi saringan pasir lambat apabila nantinya akan dilakukan pengoperasian secara rutin untuk pemenuhan kebutuhan air minum Desa Dadapayu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media pasir yang digunakan mungkin memang belum sepenuhnya siap untuk dilakukan penyaringan air baku. Hal ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi PDAM untuk dapat melakukan *initial running* dengan tujuan mencuci media pasir yang digunakan hingga bersih dan terjadi proses pematangan pada bagian atas media pasir yang nantinya membentuk lapisan biofilm yaitu *Schmutzdecke*. Lapisan ini berperan penting dalam proses pendegradasian material organik dan bakteri yang masuk ke dalam saringan pasir lambat.



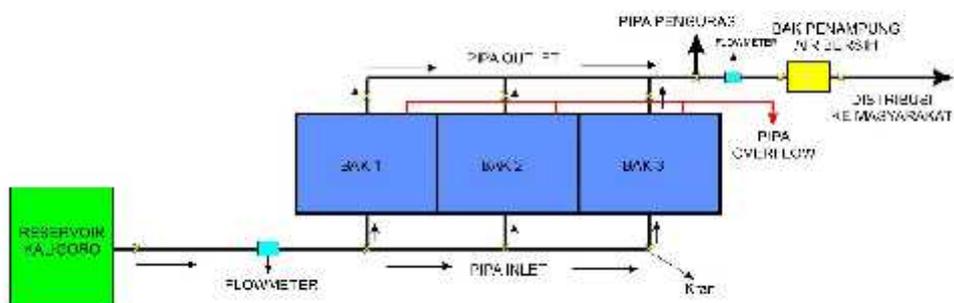
Gambar 6.4 Desain Eksisting Bangunan Bak Saringan Pasir Lambat Kaligoro



Gambar 6.5 Desain Usulan Bangunan Bak Saringan Pasir Lambat Kaligoro



Gambar 6.6 Desain Eksisting Sistem Bak Saringan Pasir Lambat Kalogoro



Gambar 6.7 Desain Usulan Sistem Bak Saringan Pasir Lambat Kalogoro

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Kajian Kualitas Air Sungai Bawah Tanah Pada Daerah Imbuhan dan Daerah Pengolahan Air Goa Bribin, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Studi Kasus Pengujian Kekeruhan, Bakteri *E. Coli*, *Total Coliform* Pada Instalasi Pengolahan Air Saringan Pasir Lambat – *Integrated Water Resources Management Project*) maka dikemukakan kesimpulan dan saran sebagai berikut:

1. Kualitas air sungai bawah tanah pada daerah imbuhan Goa Bribin dan di inlet penyaringan saringan pasir lambat untuk parameter kekeruhan adalah 23.44 NTU & 11.6 NTU, untuk parameter bakteri *E. Coli* adalah 130 CFU/100ml & >2419.6 CFU/100ml, dan untuk parameter bakteri *Total Coliform* adalah 362 CFU/100ml & >2419.6 CFU/100ml. Terjadinya perubahan kualitas mulai dari daerah imbuhan Goa Bribin hingga inlet saringan pasir lambat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya penggunaan lahan berupa pemukiman dan kegiatan manusia pada daerah permukaan seperti kebocoran septic tank, peternakan hewan, dan bengkel dan industri yang berpengaruh langsung pada kualitas air sungai bawah tanah.
2. Kualitas air hasil pengolahan menggunakan Saringan Pasir Lambat Kaligoro untuk pengujian dengan parameter kekeruhan, bakteri *E. Coli*, dan *Total Coliform* adalah sebagai berikut:
 - a. Pada parameter kekeruhan rata-rata nilai kekeruhan inlet 2,29 NTU. Sedangkan pada outlet nilai rata-rata kekeruhan outlet 1,31 NTU.

Nilai kekeruhan pada inlet dan outlet berada dibawah baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang baku mutu kualitas air minum yaitu 5 NTU. Efisiensi Penyaringannya adalah 10,75 % - 93,06 % dimana terdapat nilai efisiensi minus yang tidak di plotkan pada grafik. Nilai minus ini menunjukkan bahwa ada beberapa nilai yang tidak efisien yang disebabkan oleh *human eror*.

- b. Pada parameter bakteri *E. Coli* nilai rata – rata kandungan bakteri *E. Coli* pada inlet adalah 753,9 CFU / 100 ml sampel dan outlet 666,4 CFU / 100 ml sampel dan nilai ini berada diatas baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang baku mutu kualitas air minum yaitu 0 CFU / 100 ml. Efisiensi penyaringannya 4,88 % - 87,8 % dimana terdapat nilai efisiensi minus yang tidak di plotkan pada grafik. Nilai minus ini menunjukkan bahwa ada beberapa nilai yang tidak efisien yang disebabkan oleh *human eror*.
- c. Pada parameter bakteri *Total Coliform* rata – rata sampel nilai kandungan bakteri *Total Coliform* pada inlet 5364,26 CFU / 100 ml dan outlet 6205,16 CFU / 100 ml sampel dan nilai ini berada diatas baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang baku mutu kualitas air minum yaitu 0 CFU / 100 ml. 7,46 % - 78,54 % dimana terdapat nilai efisiensi minus yang tidak di plotkan pada grafik. Nilai minus ini menunjukkan bahwa ada beberapa nilai yang tidak efisien yang disebabkan oleh *human eror*.

3. Berdasarkan hasil monitoring yang di dapat, efisiensi penyaringan menggunakan saringan pasir lambat kaligoro tidak tercapai atau tidak dapat ditarik kesimpulannya. Hal ini disebabkan oleh hasil penyaringan yang masih berada diatas kualitas air pada inlet penyaringan. Proses *intermittent*, jumlah bakteri pada inlet dan flowrate yang tidak stabil juga dapat menjadi salah satu penyebab efisiensi penyaringan yang fluktuatif. Sehingga tidak dapat dijadikan acuan yang valid untuk menarik kesimpulan mengenai efisiensi penyaringan menggunakan Saringan Pasir Lambat Kaligoro. Mengingat penelitian ini merupakan pilot *project* dari IWRM dimana keadaan awal dari saringan pasir lambat tidak mendukung dan masih belum bisa memenuhi standar operasi dari saringan pasir lambat tersebut. Sehingga perlu diadakannya penelitian lanjutan terkait dengan efisiensi Saringan Pasir Lambat Kaligoro ini.

7.2. Saran

- a. Perlunya kajian lebih lanjut dan rinci pada sistem operasi *intermittent* saringan pasir lambat yang benar untuk daerah penelitian ini.
- b. Perlunya dilakukan penelitian atau percobaan untuk mengoperasikan saringan pasir lambat ini dengan sistem *intermittent*.
- c. Perlunya penambahan fasilitas infrastruktur seperti akses jalan, alat flowmeter pada instalasi saringan pasir lambat dan penambahan penutup bak untuk menunjang efisiensi pengoperasian dari saringan pasir lambat tersebut.
- d. Air hasil penyaringan memiliki nilai kekeruhan dibawah baku mutu air minum dan dapat dikonsumsi dengan syarat dilakukan perebusan air terlebih

dahulu hingga mendidih agar bakteri yang masih terkandung dalam air tersebut mati dan dapat dikonsumsi.

PERISTILAHAN

AIR adalah zat cair yang tidak mempunyai rasa, warna dan bau, yang terdiri dari hidrogen dan oksigen dengan rumus kimiawi H_2O (Linsley, 1991).

AIR BERSIH adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat-syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak. (PERMENKES RI NOMOR : 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 Tentang baku mutu kualitas air minum).

KUALITAS AIR adalah kandungan makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain di dalam air yang dinyatakan dengan beberapa parameter yaitu parameter fisika, kimia dan biologi (Effendi, 2003).

BAKU MUTU AIR adalah batas kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang adanya dalam air pada sumber air tertentu sesuai dengan perubahannya.

HIDROLOGI merupakan salah satu cabang dalam geografi yang mengkaji tentang air di permukaan bumi terjadinya, peredaran dan agihannya, sifat-sifat kimia dan fisiknya, dan reaksi dengan lingkungannya, termasuk hubungannya dengan makhluk-makhluk hidup (Seyhan, 1995).

KARST adalah suatu kawasan yang mempunyai karakteristik relief dan drainase yang khas, terutama disebabkan oleh derajat pelarutan batuan-batuannya dalam air, yang lebih tinggi dari tempat lain. Karst sebagai medan dengan karakteristik hidrologi dan bentuk lahan yang diakibatkan oleh kombinasi dari batuan mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik (Ford & Williams, 1992).

SUNGAI BAWAH TANAH adalah sistem aliran berupa sungai yang berkembang pada bawah permukaan di kawasan karst sebagai airtanah.

WATER TREATMENT PLANT (WTP) adalah instalasi dalam pengolahan air baku yang dikelola oleh PDAM untuk mengolah air baku dari sungai atau sumber lainnya menjadi air bersih yang layak untuk didistribusikan kepada para pelanggan, sehingga secara kualitatif layak untuk dikonsumsi. Biasa disebut dengan Instalasi Pengolahan Air (IPA).

SARINGAN PASIR LAMBAT adalah saringan yang menggunakan Pasir sebagai media filter dengan ukuran butiran sangat kecil, namun mempunyai kandungan kuarsa yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

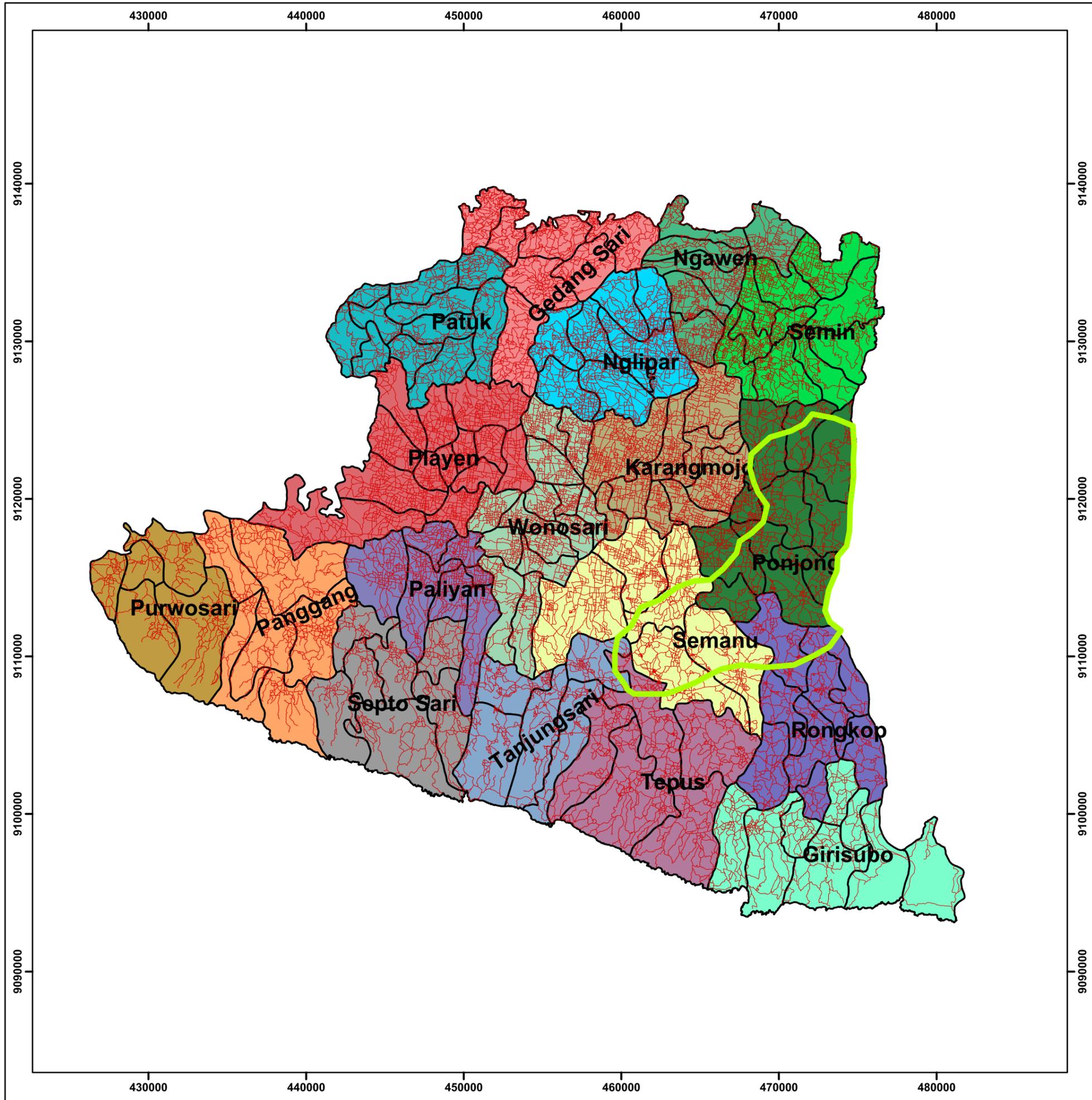
- Achmadi, U. F., 2001. Peran Air dalam Peningkatan Derajat Kesehatan Masyarakat. Departemen Kesehatan dan Kesos. Jakarta.
- Adji T.N. dan Nurjani, E., 1999. Optimasi Airtanah Karst Sebagai Pemasok Air Domestik Pada Kawasan Kritis Air di Gunung Kidul, *Laporan Penelitian*, Fakultas Geografi UGM (tidak dipublikasikan)
- Adji, T.N., 2005, Agresivitas Airtanah Karst Sungai Bawah Tanah Bribin, Gunung Sewu, *Indonesian Cave and Karst Journal*, Vol. 1 No1, HIKESPI.
- Alaerts, G dan Santika, SS. 1987. Metoda Penelitian Air. Usaha Nasional Surabaya.
- Anonim, 2008, *Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.*
- Anonim, 2010, *Peraturan Menteri Kesehatan RI No.492/MENKES/PER/IV /2010 entang Persyaratan Kualitas Air Minum*
- Anonim, 2013, *Ponjong Dalam Angka Tahun 2013*, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Gunung Kidul.
- Anonim, 2013, *Semanu Dalam Angka Tahun 2013*, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Gunung Kidul.
- Ausland, G., Stevik, T.K., Hanssen, J.F., Kohler, J.C., Jenssen, P.D. 2002. Intermittent Filtration Of Wastewater – Removal PF Fecal Coliforms And Fecal Streptococci. *Water Research* 36.
- Bellamy, William D., Hendricks, David W., & Logsdon, Gary S. 1985b. Slow Sand Filtration: Influences of Selected Process Variables. American Water Works Association.
- Bellamy, William D., Silverman, Gary P., Hendricks, David W., & Logsdon, Gary S. 1985a. Removing Giardia Cysts with Slow Sand Filtration. American Water Works Association.
- Brissaud, F., Salgot, M., Bancole, A., Campos, C., & Folch, M. 1999. Residence Time Distribution And Disinfection Decondary Effluents By Infiltration Percolation. *Water Science And Technology*.
- Collins, M. Robin, Eighmy, T. Taylor, & Malley Jr., James P. 1991. Evaluating Modi_cations to Slow Sand Filters. American Water Works Association.
- Deny Juanda P., 1998, Model Gradien Respon Piesometrik dan Upaya Delineasi Kawasan Resapan Air Kali Bribin pada Sistem Akifer Karst Formasi Wonosari Kabupaten G. Kidul DIY, Prosiding PIT IAGI ke XXVI.

- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Cetakan Kelima. Yogyakarta : Kanisius.
- Evani, F.S., 2004, *Gua Bribin Akan Atasi Kekurangan Air Gunung Kidul*, <http://www.suarapembaruan.com/News/2004/08/03/Nusantar/nusa04.htm>, last accessed 22 April 2010.
- Fakultas Kehutanan, 1993. *Penyusunan Arahkan Konservasi Tanah dan Air di Daerah Tangkapan Air Gua Bribin Kabupaten Gunung Kidul DIY*. Kerjasama antara Dinas Kehutanan DIY – Fakultas Kehutanan UGM Yogyakarta.
- Ford, D. and Williams, P., 1992, *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman and Hall, London.
- Haryono, E. dan Adji T. N., 2004, *Pengantar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*, Kelompok Studi Karst, Fakultas Geografi, UGM, Yogyakarta.
- Haryono, Eko, & Day, Mick. 2004. Landform differentiation within the Gunung Kidul Kegelkarst, Java, Indonesia. *WasserWirtschaft*.
- Huisman, L., & Wood, E. W. 1974. *Slow sand filtration*. Geneva: World Health Organization.
- Ibisch, R., & Borchardt, D. 2009. *Integrated Water Resource Management (IWRM): From Research to Implementation*. www.wasserressourcenmanagement.de.
- ICRF. 2010. *Membangun Kebun Campuran*. World Agroforestri Centre (ICRAF). Bogor.
- Integrated Water Resources Management IWRM Indonesia, subproject 8. 2006. *Konzipierung und Implementierung einer angepassten Trinkwasseraufbereitung und Trinkwasserversorgung (Design and implementation of an adapted drinking water treatment)*.
- Jennings. 1971. *Karst Geomorphology*. 2nd Edition. New York : Basil Blackwell Inc.
- Langenbach, K. 2010. *Slow Sand Filtration Of Secondary Effluent For Wastewater Reuse: Evaluation Of Performance And Modeling Of Bacteria Removal*. PhD Thesis. *Berichte Aus Der Siedlungswasserwirtschaft Technische Universitaet Muenchen*.
- Linsley, R.K. dan J. Franzini, 1991. *Teknik Sumber Daya Air*. Penerjemah Djoko Sasongko. Erlangga, Jakarta.
- Logsdon, Gary, Hess, Alan, & Horsley, Michael. 2002. *Guide to selection of water treatment processes*. *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*.

- MacDonalds and Partners. 1984. *Greater Yogyakarta – Groundwater Resources Study*. Vol 3C: Cave Survey. Yogyakarta, Directorate General of Water Resources Development Project (P2AT).
- Marwanta, B., Prawiradisastra, S. 2002. Pengelolaan Kawasan Kars Gunungsewu dengan Mengoptimalkan Sumberdaya Alam untuk Meningkatkan Pengembangan Daerah. *Jurnal. Alami*.
- Milanovic, P. T., 1981. *Karst Hydrogeology*. Water Resources Publications, USA.
- Nestmann, F., Oberle, P., Ikhwan, M., Klingel, P., Stoffel, D., Solichin. 2011. Development of underground hydropower systems for karst area – Pilot study Java, Indonesia. Indonesia: Asian Trans-Disciplinary Karst Conference.
- Noorhadi dan Sudadi. 2003. Kajian Pemberian Air dan Mulsa Terhadap Iklim Mikro Pada Tanaman Cabai di Tanah Entisol. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. Fakultas Pertanian UNS, Surakarta.
- Purnama, IG. L. Setyawan. 2004. *Distribusi Air Asin dalam Tanah Dataran Pantai (Studi Kasus di Kota Semarang)*, Disertasi. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Seyhan, E., 1995, *Dasar-dasar Hidrologi*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Silva, A., 2010, *A Suitable Filtration Process for a Centralized Water Treatment in Gunung Kidul-Indonesia and Influence of Selected Process Variables on Treatment Performance*, Institute for Water and River Basin Management, Department Aquatic Environmental Engineering, Karlsruhe Institut für Technologie.
- Slamet, Juli Soemirat, 2002. *Kesehatan Lingkungan*. Gajahmada University Press, Yogyakarta
- Stevik, T. K., Aa, K., Ausland, G., Jenssen, P.D., & Siegrist, R.L. 1999. Removal Of E. Coli During Intermittent Filtration Of Waste Water Effluent As Affected By Dosing Rate And Media Type. *Wat Res*. Vol. 33, No. 9.
- Sutrisno, C. 1987. *Teknik Penyediaan Air Bersih*. PT Bina Angkasa. Jakarta.
- Suyoto, 1994. *Stratigrafi Sikuen Cekungan Depan Busur Neogen Jawa Selatan Berdasarkan Data di Daerah Pegunungan Selatan*, Yogyakarta. Disertasi Doktor. Jurusan Teknik Geologi ITB (tidak diterbitkan).
- Todd. D.K. 1980. *Groundwater Hydrology*. 2 nd Edition. Jhon Willey & Sons. New York.
- Torrens, A., Molle, P., Boutin, C., Salgot, M. 2009. Removal Of Bacteria And Viral Indicators In Vertical Flows Constructed Wetlands And Intermittent Sand Filters. *Desalination* 246.

- USGS, 2010, *Water Basics*, <http://ga.water.usgs.gov/edu/characteristics.html>, diakses pada tanggal 2 Februari 2015.
- Visscher, T. J., 1990, *Slow Sand Filtration: Design, Operation, and Maintenance*, American Water Works Association.
- White, W.B., 1993. *Analysis of Karst Aquifer*. In:Alley, W.M. (editor), *Regional Groundwater Quality*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- WHO, 2008, *Guidelines for Drinking-water Quality*, 3rd ed., Incorporating the First and Second Addenda, Vol. 1, Recommendations, Geneva.
- Yogafanny, E. 2011, *Evaluating Bacteria Removal Potential by Slow Sand Filtration Effects of Rhine and Lava Sand and Operation Mode*. Karlsruhe: KIT.

LAMPIRAN



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
 UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL
 "VETERAN" YOGYAKARTA

**PETA ADMINISTRASI DAERAH PENELITIAN
 KABUPATEN GUNUNG KIDUL, YOGYAKARTA**



1:250,000



Disusun Oleh :
Muhammad Pramudita Hardihito
114100048

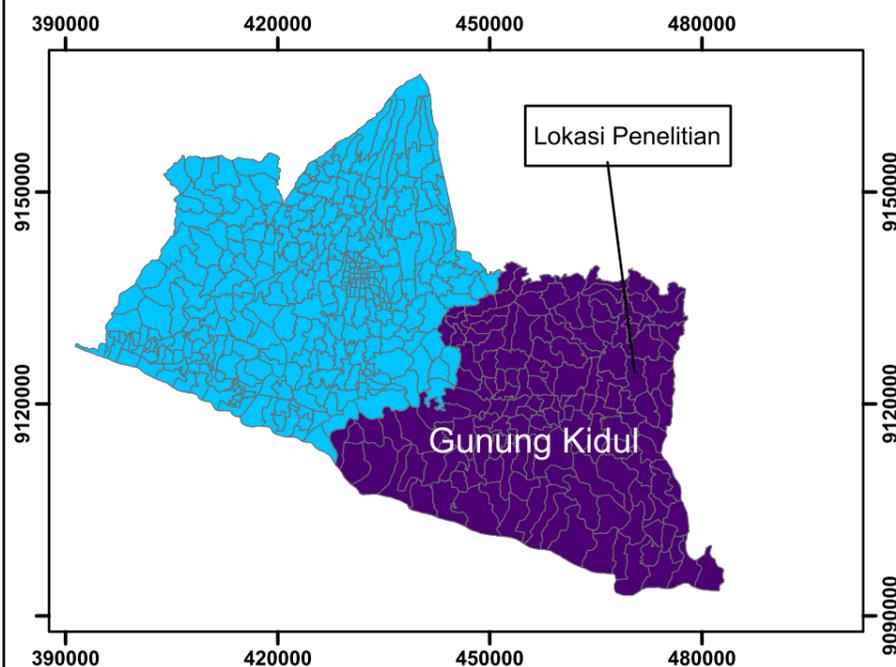
Keterangan

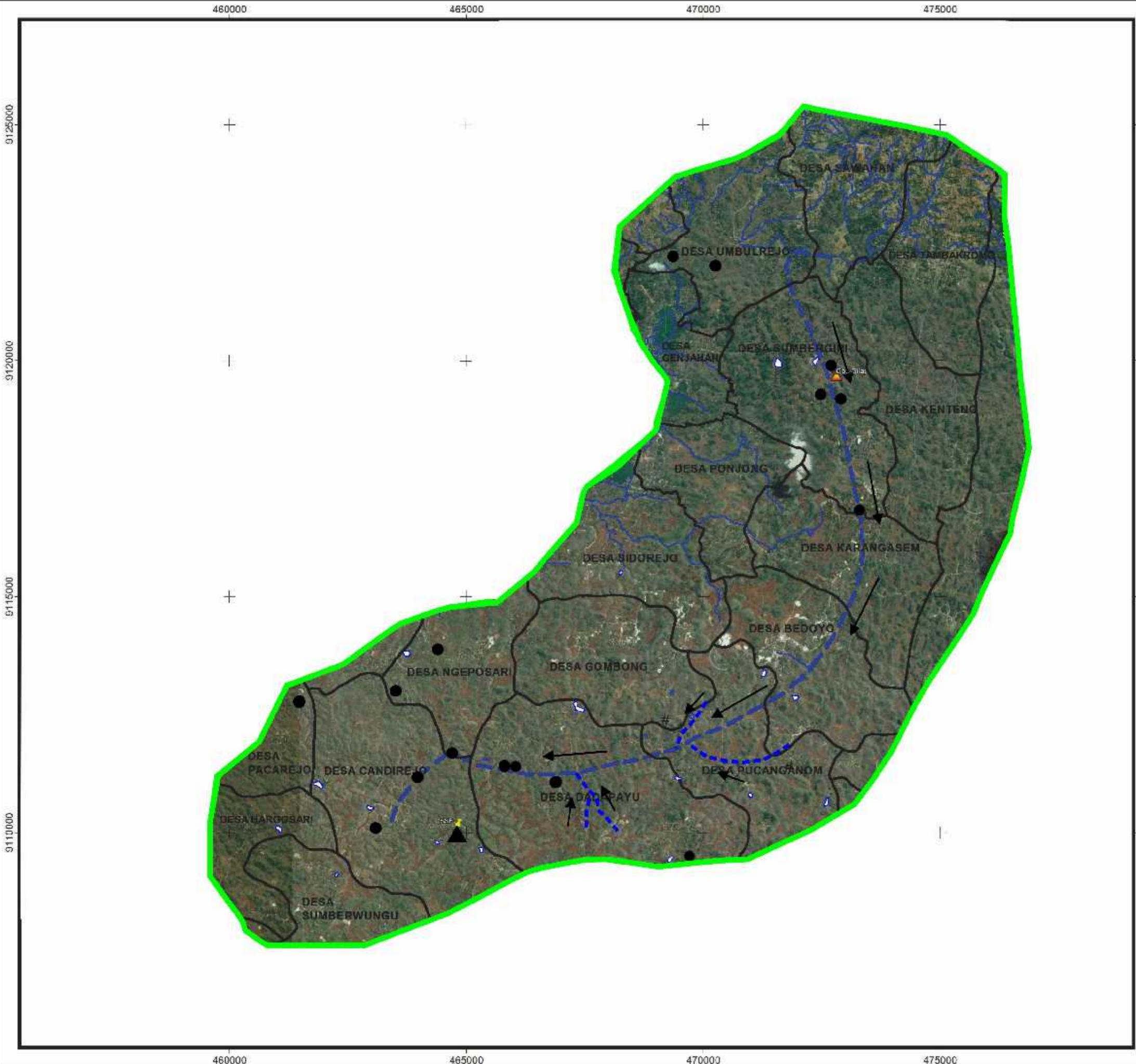
- Jalan Lokal
- Batas Kecamatan
- Batas Penelitian (Aliran Air Sungai Bawah Tanah)

Sumber :

- Peta RBI wilayah Kabupaten Gunung Kidul
- Sistem proyeksi universal transfer marcorator
- Datum unit WGS 84 Zona 49s

Inset :





Program Studi Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknologi Mineral
 Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

PETA CITRA WILAYAH PENELITIAN
 KEC PONJONG & KEC SEMANU,
 KAB GUNUNG KIDUL D.I. YOGYAKARTA



SKALA 1 : 80000



Disusun Oleh :

**MUHAMMAD PRAMUDITA HARDHITO N
 114100048**

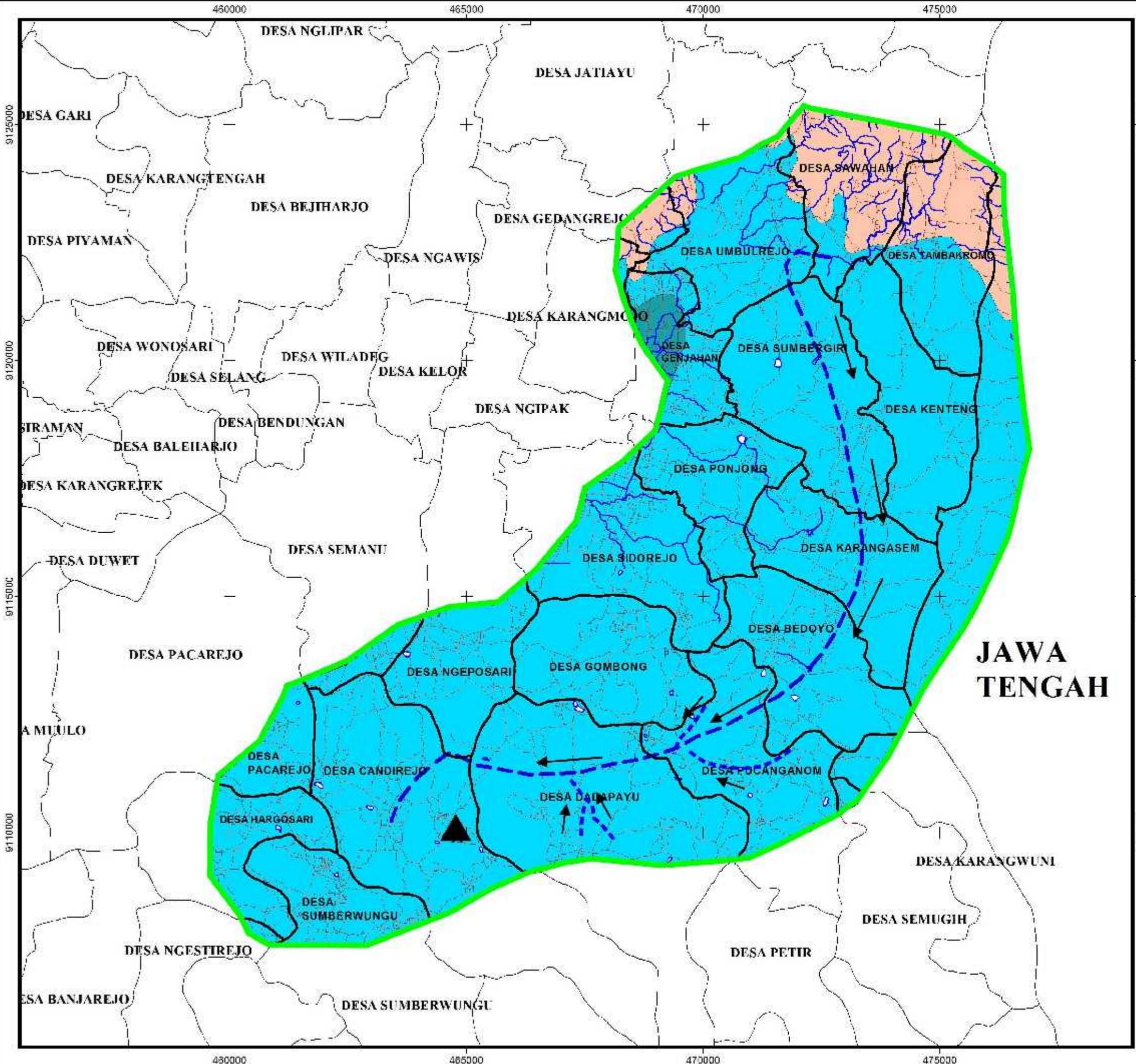
KETERANGAN :

-  Lokasi WTP Slow Sand Filtration Kaligoro
-  Perkiraan Sungai Bawah Tanah
-  Sungai Permukaan
-  Telaga
-  Arah Aliran Sungai Bawah Tanah
-  Goa
-  Batas Administrasi
-  Batas Administrasi

Sumber :

- Peta RBI Skala 1 : 25000 Kec Ponjong & Kec Semanu, Kabupaten Gunung Kidul, D.Y
- Citra Satelit Google Earth, Penilaian Tahun 2013
- Proyeksi : Universal Transverse Mercator (UTM), Datum : WGS 1984, Zone : 48S
- Peta Perkiraan Daerah Tangkapan Air Sungai Bawah Tanah dan Sistem Jaringan Sungai (Adji dan Nurjani, 1998)
- Peta Aliran Sungai Bawah Tanah Gribin (McDonald & Partners, 1904)





Program Studi Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknologi Mineral
 Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

PETA SATUAN BATUAN WILAYAH PENELITIAN
 KEC PONJONG & KEC SEMANU,
 KAB GUNUNG KIDUL D.I. YOGYAKARTA



SKALA 1 : 80000



Disusun Oleh :

**MUHAMMAD PRAMUDITA HARDHITO N
 114100048**

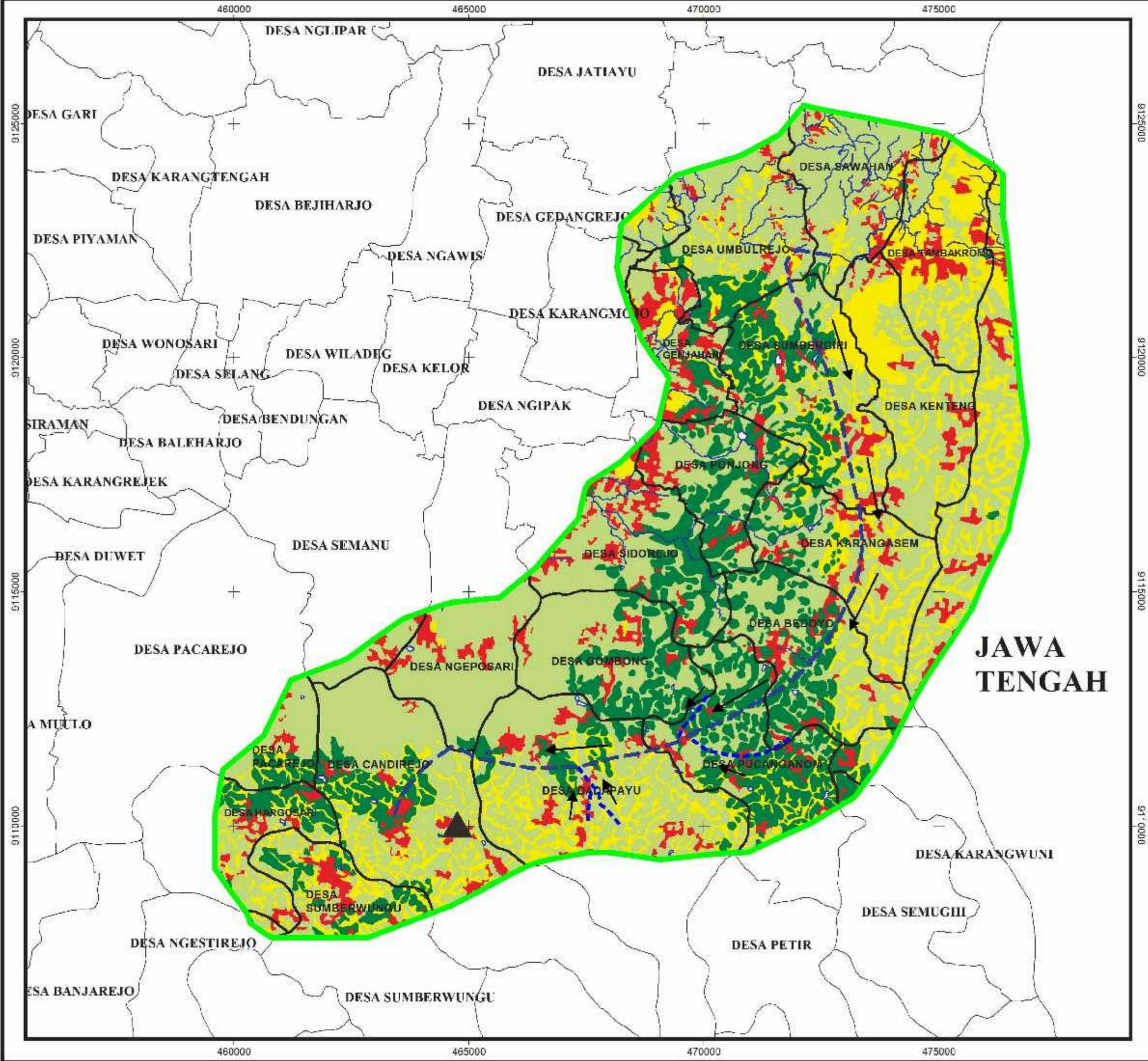
KETERANGAN:

- Lokasi WTP Slow Sand Filtration Kaligoro
- Batas Penelitian
- Perkiraan Sungai Bawah Tanah
- Sungai Permukaan
- Arah Aliran Sungai Bawah Tanah
- Telaga
- Batas Administrasi
- Lempung, lumpur, lanau, pasir, kerikil, kerakal, dan berangkal. Aluvium.
- Batugamping, batugamping napalan, tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan, dan batulanau. Formasi Wonosari
- Tuf, breksi batuapung dasitan, batupasir tufan, dan serpih. Formasi Semilir

Sumber:

- Peta RB Skala 1 : 25000 Kec Ponjong & Kec Semanu, Kabupaten Gunung Kidul, DIY
- Proyeksi : Universal Transverse Mercator (UTM) Datum : WGS 1984, Zone : 49S
- Peta Perkiraan Daerah Tangkapan Air Sungai Dribir Sebaran Gas dan Sistem Jaringan Sungsiraya (Aji dan Nurjani, 1998)
- Peta Aliran Sungai Bawah Tanah Hutan (Mardiana & Pannings, 1984)
- Peta Geologi Lembar Surakarta Skala 1 : 100000





Program Studi Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknologi Mineral
 Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

PETA PENGGUNAAN LAHAN
 WILAYAH PENELITIAN KEC PONJONG & KEC SEMANU,
 KAB GUNUNG KIDUL D.I. YOGYAKARTA



SKALA 1 : 80000



Disusun Oleh :

**MUHAMMAD PRAMUDITA HARDHITO N
 114100048**

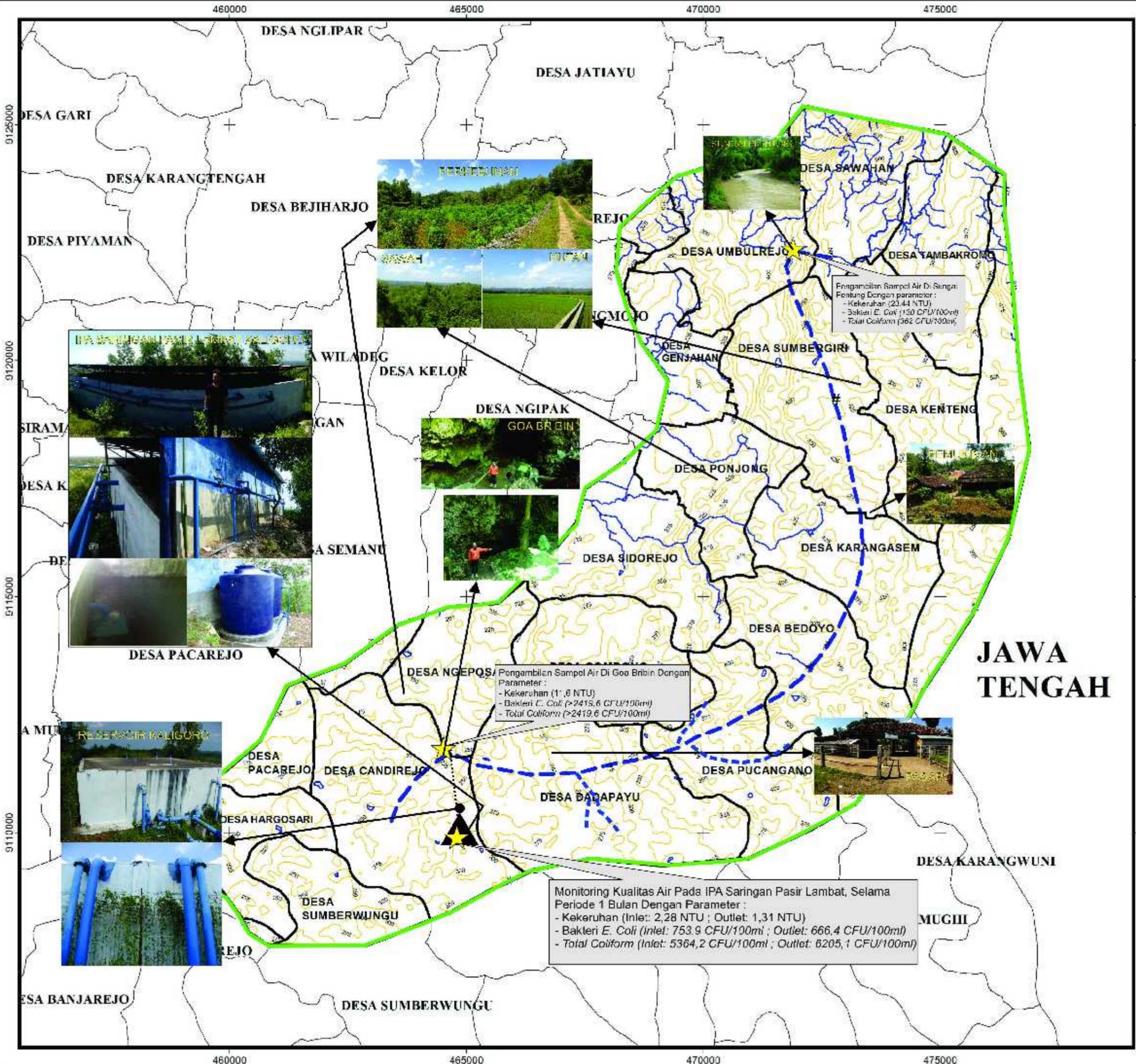
KETERANGAN :

- Lokasi WTP Slow Sand Filtration Kaigoro
- Batas Penelitian
- Perkiraan Sungai Bawah Tanah
- Sungai Permukaan
- Telaga
- Batas Administrasi
- Arah Aliran Sungai Bawah Tanah
- Pemukiman
- Sawah
- Hutan/Semak Belukar
- Kebun/Tegalan

Sumber :

- Peta RBI Skala 1 : 25000 Kec Ponjong & Kec Semanu, Kabupaten Gunung Kidul, DIY
- Proyeksi : Universal Transverse Mercator (UTM); Datum : WGS 1984, Zone : 49S
- Peta Perkiraan Daerah Tangkapan Air Sungai Brin Sebaran Gos dan Sistem Jaringan Sungainya (Adji dan Nurjani, 1999)
- Peta Aliran Sungai Bawah Tanah Brinir (McDonald & Pommers, 1984)
- Citra Satelit Google Earth Percitraan Tahun 2013





Program Studi Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknologi Mineral
 Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

PETA TITIK PENGAMBILAN SAMPEL WILAYAH PENELITIAN
 KEC PONJONG & KEC SEMANU,
 KAB GUNUNG KIDUL D.I. YOGYAKARTA



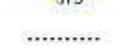
SKALA 1 : 80000



Disusun Oleh :

**MUHAMMAD PRAMUDITA HARDHITO N
 114100048**

KETERANGAN :

-  Lokasi WTP Slow Sand Filtration Kaigoro
-  Titik Pengambilan Sampel
-  Sungai Bawah Tanah
-  Sungai Permukaan
-  Telaga
-  Batas Administrasi
-  Batas Penelitian
-  Garis Kontur 575
-  Pipa Air

Sumber :
 Peta Penggunaan Lahan Wilayah Penelitian Skala 1 : 80000
 Peta Administrasi Wilayah Penelitian Skala 1 : 80000
 Peta Aliran Sungai Bawah Tanah Bribin Skala 1 : 80000
 Peta Satuan Batuan Wilayah Penelitian 1 : 80000



Pengambilan Sampel Air Di Goa Bribin Dengan Parameter :
 - Kekeruhan (1,8 NTU)
 - Bakteri E. Coli (>2415,6 CFU/100ml)
 - Total Coliform (>2419,6 CFU/100ml)

Monitoring Kualitas Air Pada IPA Saringan Pasir Lambat, Selama Periode 1 Bulan Dengan Parameter :
 - Kekeruhan (Inlet: 2,28 NTU ; Outlet: 1,31 NTU)
 - Bakteri E. Coli (Inlet: 753,9 CFU/100ml ; Outlet: 666,4 CFU/100ml)
 - Total Coliform (Inlet: 5364,2 CFU/100ml ; Outlet: 6205,1 CFU/100ml)