

TA/TL/2023/

TUGAS AKHIR

**ESTIMASI KONSENTRASI PESTISIDA DARI
LAHAN PERTANIAN KECAMATAN CANGKRINGAN
DAN PAKEM PADA LIMPASAN DI DAS OPAK HULU**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**ANDRIANA EIKINTAWARNA
19513124**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

TUGAS AKHIR

**ESTIMASI KONSENTRASI PESTISIDA DARI
LAHAN PERTANIAN KECAMATAN CANGKRINGAN
DAN PAKEM PADA LIMPASAN DI DAS OPAK HULU**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**ANDRIANA EIKINTAWARNA
19513124**

Disetujui,
Dosen Pembimbing:

Dr. Supha Rahmawati, S.T., M.T.

NIK. 155131313

Tanggal: 20/10/23

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

NIK. 155131304

Tanggal: 20/10/2023

Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Anv. Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.

NIK. 045130401

Tanggal: 20/10/2023

HALAMAN PENGESAHAN

ESTIMASI KONSENTRASI PESTISIDA DARI LAHAN PERTANIAN KECAMATAN CANGKRINGAN DAN PAKEM PADA LIMPASAN DI DAS OPAK HULU

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat
Tanggal : 20 Oktober 2021

Disusun Oleh:



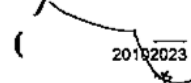
ANDRIANA EIKINTAWARNA
19513124

Tim Penguji :

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc.

() 20/10/23
() 20/10/23
() 20/10/2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 14 Oktober 2023

Yang membuat pernyataan,



Andriana Eikintawarna

NIM: 19513124

PRAKATA

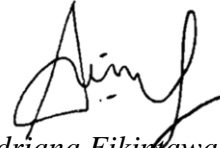
Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga Tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Maret 2023 ini ialah “Estimasi Konsentrasi Pestisida dari Lahan Pertanian Kecamatan Cangkringan dan Pakem pada Limpasan di DAS Opak Hulu”.

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T dan Bapak Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, mengarahkan, memberikan masukan dan nasihat kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan saran yang membangun untuk Tugas Akhir ini.
3. Seluruh dosen dan pegawai Program Studi Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan ilmu, serta bantuan kepada penulis selama berkuliah dan menyelesaikan segala administrasi Tugas Akhir.
4. Mama, Papa dan Bapak yang telah memberikan dukungan secara moril dan materiil, serta tiada hentinya mendoakan penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. Andi Utari Anniza yang telah sabar membantu dan mengajarkan penulis terkait model SCS-CN selama kurang lebih tiga bulan lamanya.
6. Nisa, Laila, Alfi, Nanda, Nita, Didi, Ayu, Shinta, Salsa, dan Issabel selaku teman dekat penulis yang senantiasa memberikan dorongan dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Teknik Lingkungan 2019 yang telah memberikan kesan selama berkuliah dan seluruh pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Kritik dan saran yang membangun diharapkan dapat memperbaiki kekurangan dalam penyusunan laporan. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 20 Oktober 2023



Andriana Ekinawarna

ABSTRAK

Andriana Eikintawarna. Estimasi Konsentrasi Pestisida dari Lahan Pertanian Kecamatan Cangkringan dan Pakem pada Limpasan di DAS Opak Hulu. Dibimbing oleh Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T dan Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Penggunaan pestisida pada lahan pertanian memiliki kontribusi mencemari air sungai melalui limpasan air hujan. Limpasan yang mengandung sisa residu pestisida organofosfat akan menurunkan kualitas air sungai. Untuk mencegah pencemaran pestisida di DAS Opak Hulu yang berkelanjutan, diperlukan pengelolaan yang efektif. Oleh karena itu, penting untuk melakukan estimasi konsentrasi pestisida dari lahan pertanian Kecamatan Cangkringan dan Pakem yang terkandung pada limpasan di DAS Opak Hulu. Estimasi konsentrasi pestisida pada limpasan dapat dilakukan dengan melakukan pemodelan hidrologi. Model *Soil Conservation Service-Curve Number* (SCS-CN) merupakan model paling sederhana jika dibandingkan dengan model lainnya, tetapi model ini perlu dikombinasikan dengan Model *Predicted Environmental Concentrations* (PEC) untuk dapat mengestimasi konsentrasi pestisida yang terkandung pada limpasan di DAS Opak Hulu.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa Kecamatan Cangkringan merupakan penyumbang konsentrasi pestisida organofosfat terbesar pada limpasan DAS Opak Hulu. Pada tahun 2019, limpasan permukaan DAS Opak Hulu di estimasi mengandung 0,0118 µg/L zat aktif Diazinon, 0,0038 µg/L zat aktif Profenofos, dan 0.0002 µg/L zat aktif Klorpirifos dari lahan pertanian di Kecamatan Cangkringan, serta 0,0031 µg/L zat aktif Diazinon dan 0,0036 µg/L zat aktif Profenofos dari lahan pertanian di Kecamatan Pakem. Sebagian besar konsentrasi pestisida yang terkandung dalam limpasan DAS Opak Hulu berasal dari lahan pertanian.

Kata kunci: Limpasan, PEC, Pestisida, SCN-CN

ABSTRACT

Andriana Eikintawarna. *Estimation of Pesticide Concentrations from Agricultural Land in Cangkringan and Pakem Districts on Runoff in the Upper Opak Watershed. Supervised by Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. and Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.*

The use of pesticides on agricultural land contributes to polluting river water through rainwater runoff. Runoff containing residual organophosphate pesticide residues will reduce river water quality. To prevent pesticide pollution in the Opak Hulu watershed in a sustainable manner, effective management is needed. Therefore, it is essential to estimate pesticide concentrations from agricultural land in Cangkringan and Pakem Districts contained in runoff in the Opak Hulu watershed is essential. Estimation of pesticide concentrations in runoff can be done by conducting hydrological modeling. The Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) model is the simplest model compared to other models, but this model needs to be combined with the Predicted Environmental Concentrations (PEC) Model to be able to estimate pesticide concentrations contained in runoff in the Opak Hulu watershed.

The research results show that the Cangkringan District is the most significant contributor to the concentration of organophosphate pesticides in the Opak Hulu watershed runoff. In 2019, surface runoff from the Opak Hulu watershed was estimated to contain 0.0118 µg/L of the active substance Diazinon, 0.0038 µg/L of the active substance Profenofos, and 0.0002 µg/L of the active substance Chlorpyrifos from agricultural land in Cangkringan District, as well as 0.0031 µg/L of the active substance Diazinon and 0.0036 µg/L of the active substance Profenofos from agricultural land in Pakem District. Most pesticide concentrations in the Opak Hulu watershed runoff come from agricultural land.

Keywords: *Runoff, PEC, Pesticide, SCS-CN*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR PERSAMAAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pestisida	5
2.1.1 Pestisida Organofosfat	5
2.2. Daerah Aliran Sungai (DAS)	9
2.3. Limpasan Permukaan (<i>Runoff</i>)	11
2.3.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Limpasan Permukaan	11
2.4. Pemodelan Limpasan	13
2.4.1. <i>Soil Conservation Service-Curve Number</i> (SCS-CN)	15
2.4.2. Penerapan SCS-CN di Indonesia	16
2.5. <i>Predicted Environmental Concentrations</i> (PEC)	17
2.5.1 Penerapan PEC di Indonesia	17
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1. Lokasi Penelitian	19
3.2. Alur Penelitian	20
3.3. Pengumpulan Data	21
3.4. Pengolahan Data	22
3.4.1. Penentuan Nilai <i>Curve Number</i> (CN)	22
3.4.2. Analisis Limpasan Permukaan	24
3.4.3. Penentuan Persentase Dosis Aplikasi Pestisida	25
3.4.4. Penentuan Estimasi Konsentrasi Zat Pestisida alam Limpasan	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27

4.1. Karakteristik DAS Opak Hulu.....	27
4.1.1 Topografi (Kemiringan Lereng)	27
4.1.2 Jenis Tanah	28
4.1.3 Penggunaan Lahan.....	30
4.1.4 Curah Hujan.....	32
4.2. Limpasan di DAS Opak Hulu.....	35
4.2.1 Kelompok Hidrologi Tanah (KHT)	35
4.2.2 <i>Antecedent Moisture Condition</i> (AMC)	36
4.2.3 Nilai <i>Curve Number</i> (CN)	37
4.2.4 Limpasan Permukaan.....	40
4.3. Pengaplikasian Pestisida Organofosfat pada Lahan Pertanian dan Sawah di DAS Opak Hulu.....	45
4.3.1 Jenis dan Dosis Aplikasi Pestisida Organofosfat.....	45
4.3.2 Persentase dosis aplikasi pestisida organofosfat pada limpasan di DAS Opak Hulu.....	48
4.4. Estimasi Konsentrasi Pestisida Organofosfat pada Limpasan di DAS Opak Hulu.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	67
RIWAYAT HIDUP	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data penelitian.....	22
Tabel 4.1 Persentase dan luasan kemiringan lereng DAS Opak Hulu	27
Tabel 4.2 Persentase dan luasan jenis tanah DAS Opak Hulu	29
Tabel 4.3 Persentase dan luasan penggunaan lahan DAS Opak Hulu	31
Tabel 4.4 Nilai CN komposit pada AMC I, II, dan III di lahan pertanian dan sawah	40
Tabel 4.5 Limpasan dari lahan pertanian dan sawah.....	43
Tabel 4.6 Dosis aplikasi zat aktif Profenofos per tahun di Kecamatan Cangkringan	45
Tabel 4.7 Dosis aplikasi zat aktif Profenofos per tahun di Kecamatan Pakem	46
Tabel 4.8 Dosis aplikasi pestisida organofosfat per tahun	47
Tabel 4.9 Parameter <i>input</i>	48
Tabel 4.10 $L\%_{runoff}$ dari lahan pertanian Kecamatan Pakem.....	51
Tabel 4.11 $L\%_{runoff}$ dari sawah Kecamatan Pakem.....	51
Tabel 4.12 $L\%_{runoff}$ dari lahan pertanian Kecamatan Cangkringan	52
Tabel 4.13 Konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian Kecamatan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu	58
Tabel 4.14 Konsentrasi pestisida organofosfat dari sawah Kecamatan	58
Tabel 4.15 Konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian Kecamatan Cangkringan pada limpasan di DAS Opak Hulu.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	9
Gambar 3.1 Peta wilayah penelitian.....	19
Gambar 3.2 Diagram alur penelitian	21
Gambar 4.1 Peta kemiringan lereng DAS Opak Hulu	28
Gambar 4.2 Peta jenis tanah DAS Opak Hulu	29
Gambar 4.3 Peta penggunaan lahan DAS Opak Hulu.....	32
Gambar 4.4 Peta polygon thiessen stasiun curah hujan DAS Opak Hulu.....	33
Gambar 4.5 Peta intensitas curah hujan DAS Opak Hulu tahun 2018 - 2020	34
Gambar 4.6 Peta Kelompok Hidrologi Tanah (KHT) DAS Opak Hulu	36
Gambar 4.7 Peta CN pada AMC I, II, dan III DAS Opak Hulu.....	38
Gambar 4.8 Peta limpasan permukaan DAS Opak Hulu tahun 2018-2020	44
Gambar 4.9 Peta persebaran zat aktif Diazinon pada limpasan di DAS Opak Hulu tahun 2018 - 2020	55
Gambar 4.10 Peta persebaran zat aktif Profenofos pada limpasan di DAS Opak Hulu tahun 2018 - 2020	56
Gambar 4.11 Peta persebaran zat aktif Klorpirifos pada limpasan di DAS Opak Hulu tahun 2018 - 2023	57
Gambar 4.12 Estimasi konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian Kecamatan Cangkringan pada limpasan di DAS Opak Hulu.....	59
Gambar 4.13 Estimasi konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian Kecamatan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu	60
Gambar 4.14 Estimasi konsentrasi pestisida organofosfat dari sawah Kecamatan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh Tabel perhitungan SCS-CN lahan pertanian.....	67
Lampiran 2 Contoh Tabel perhitungan dosis pestisida lahan pertanian Kecamatan Pakem.....	69

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3.1	Nilai bilangan kurva limpasan permukaan AMC I	23
Persamaan 3.2	Nilai bilangan kurva limpasan permukaan AMC III	23
Persamaan 3.3	Nilai bilangan kurva komposit	23
Persamaan 3.4	Nilai total simpanan permukaan	24
Persamaan 3.5	Volume limpasan permukaan.....	25
Persamaan 3.6	Persentase dosis aplikasi pestisida pada limpasan	25
Persamaan 3.7	Konsentrasi zat aktif pestisida dalam limpasan	26

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai Opak merupakan sumber air yang berperan penting dalam penyediaan air bersih di Daerah Istimewa Yogyakarta. Namun, kondisi fisik Daerah Aliran Sungai (DAS) Opak dipengaruhi oleh aktivitas manusia dan Gunung Api (Widaryanto dkk., 2021). Kegiatan pertanian di DAS Opak, terutama pada bagian Hulu yang terletak di Kabupaten Sleman, memerlukan perhatian khusus karena berpotensi memberikan dampak negatif terhadap kualitas air sungai. Menurut UPT Pertanian Kabupaten Sleman, wilayah di Kecamatan Cangkringan dan Pakem banyak dimanfaatkan sebagai lahan pertanian (Kizlyara, 2019). Penggunaan pestisida dan pupuk pada lahan pertanian di Kabupaten Sleman ikut mengalami peningkatan seiring dengan produktivitas pertanian, sebagaimana dilaporkan dalam laporan status lingkungan hidup Kabupaten Sleman tahun 2007. Berdasarkan hasil penelitian Prananda (2017) dan Kizlyara (2019), diketahui bahwa tingkat risiko penggunaan pestisida di Kecamatan Cangkringan dan Pakem yang berada di kelas sangat tinggi, sebesar 13% di Kecamatan Cangkringan dan 31% di Kecamatan Pakem.

Penggunaan pestisida pada lahan pertanian memiliki kontribusi mencemari air sungai melalui limpasan permukaan. Ketika curah hujan meningkat di DAS Opak Hulu, maka akan terjadi limpasan yang berlebihan dan menyebabkan sisa residu pestisida yang ada pada tanaman dan tanah terbawa ke Sungai Opak. Penelitian yang dilakukan oleh Jia dan Chen (2013), telah mengungkapkan dampak negatif dari kontaminasi pestisida terhadap keseimbangan ekosistem sungai dalam jangka panjang. Penelitian ini menyoroti perlunya peraturan dan praktik pengelolaan DAS yang lebih efektif untuk mencegah pencemaran lebih lanjut.

Pengelolaan DAS yang efektif dilakukan untuk meminimalkan dampak jangka panjang pencemaran pestisida di DAS Opak, khususnya wilayah hulu karena di dominasi oleh lahan pertanian. Namun, tantangan yang dihadapi dalam pengelolaan DAS adalah kurangnya informasi tentang konsentrasi pestisida yang terkandung pada limpasan di DAS Opak. Tanpa informasi ini, pengembangan strategi

pengelolaan DAS yang efektif akan terhambat. Oleh karena itu, perlu dilakukan estimasi konsentrasi pestisida dari lahan pertanian Kecamatan Cangkringan dan Pakem yang terkandung pada limpasan di DAS Opak Hulu.

Estimasi konsentrasi pestisida pada limpasan dapat dilakukan dengan melakukan pemodelan hidrologi. Pemodelan hidrologi suatu DAS merupakan salah satu metode yang efektif untuk mempelajari dan memahami proses-proses yang terjadi dalam DAS serta memprediksi respons dari DAS terhadap perubahan yang terjadi di dalamnya (Ferijal, 2012). Beberapa model hidrologi seperti *Watershed Model* (WM), model *Soil Water Assessment Tool* (SWAT), model *Soil Conservation Service-Curve Number* (SCS-CN) dan lainnya telah dikembangkan untuk dapat mengestimasi limpasan. Model-model hidrologi berbasis fisik seperti SWAT adalah model yang efektif digunakan untuk mengestimasi limpasan, tetapi penggunaannya terbatas karena persyaratan kalibrasi yang rumit dan memerlukan banyak parameter masukan yang kompleks. Model SCS-CN merupakan model paling sederhana jika dibandingkan dengan model lainnya, tetapi perlu dikombinasikan dengan model *Predicted Environmental Concentrations* (PEC) untuk dapat mengestimasi konsentrasi pestisida yang terkandung pada limpasan di DAS Opak Hulu.

1.2 Perumusan Masalah

Sebagian besar wilayah Kecamatan Cangkringan dan Pakem dimanfaatkan sebagai lahan pertanian. Berdasarkan penelitian Prananda (2017) dan Kizlyara (2019), petani di Kecamatan Cangkringan dan Pakem paling sering menggunakan pestisida golongan organofosfat pada lahan pertanian mereka. Limpasan yang mengandung sisa residu pestisida organofosfat akan menurunkan kualitas air sungai. Kontaminasi tersebut berdampak negatif terhadap lingkungan dan organisme akuatik atau pun organisme non-target seperti manusia, jika konsentrasi pestisida di dalam air tersebut terus meningkat.

Untuk mencegah pencemaran pestisida di DAS Opak Hulu yang berkelanjutan, diperlukan pengelolaan yang efektif. Namun, belum adanya informasi mengenai estimasi konsentrasi pestisida pada limpasan di DAS Opak Hulu dapat menghambat proses pengelolaan tersebut. Oleh karena itu, fokus utama dari penelitian ini adalah

mengetahui estimasi konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian di Kecamatan Cangkringan dan Pakem yang terkandung pada limpasan di DAS Opak Hulu menggunakan model hidrologi SCS-CN dan model PEC.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian di Kecamatan Cangkringan dan Pakem yang terkandung pada limpasan di DAS Opak Hulu menggunakan model hidrologi SCS-CN dan model PEC.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan oleh pemerintah dalam upaya merencanakan dan mengelola DAS Opak Hulu. Hasil dari penelitian juga memberikan informasi kepada masyarakat untuk mengetahui estimasi konsentrasi pestisida yang dihasilkan oleh lahan pertanian Kecamatan Cangkringan dan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu, serta wawasan mengenai dampak lingkungan dari pencemaran pestisida di DAS. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi ataupun acuan bagi peneliti lain yang ingin lebih mengembangkan hasil dari penelitian ini di masa depan.

1.5 Ruang Lingkup

Rung lingkup dari penelitian ini dijabarkan sebagai berikut.

1. Data pestisida menggunakan hasil penelitian Prananda (2017) pada area pertanian di Kecamatan Cangkringan meliputi Desa Argomulyo dan Wukirsari, serta hasil penelitian Kizlyara (2019) pada area pertanian di Kecamatan Pakem meliputi Candibinangun, Hargobinangun, Harjobinangun, dan Pakembinangun.
2. Penelitian berfokus untuk mengestimasi konsentrasi pestisida organofosfat yang terkandung pada limpasan di DAS Opak Hulu.
3. Periode estimasi dilakukan selama periode tahun 2018 – 2020.

4. Model yang digunakan pada penelitian adalah model *Soil Conservation Service-Curve Number* (SCS-CN) dan model *Predicted Environmental Concentrations* (PEC).
5. Penelitian hanya melakukan estimasi konsentrasi pestisida organofosfat yang terkandung pada limpasan di DAS Opak Hulu tanpa melakukan proses validasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pestisida

Pestisida adalah bahan kimia yang digunakan untuk mencegah atau mengendalikan pertumbuhan tanaman dan hama yang tidak diinginkan seperti serangga, hewan pengerat, atau hewan lain yang dapat menghambat perkembangan tanaman (Kaushal dkk., 2021). Penelitian Ardiwinata (2008), menunjukkan bahwa sekitar 60% pestisida yang digunakan mengendap di dalam tanah melalui berbagai cara masuk, seperti penyemprotan, pengaplikasian langsung, dan pengangkutan melalui air hujan dan debu. Di Indonesia, banyak petani yang kurang memahami bahaya pestisida terhadap lingkungan, sehingga menyebabkan pembuangan sisa pestisida dan kemasannya secara tidak tepat. Akibatnya, banyak dari zat-zat tersebut berakhir di sungai, danau, dan laut (Sembel, 2015).

2.1.1 Pestisida Organofosfat

Pestisida organofosfat adalah kelompok insektisida yang biasa digunakan untuk membasmi berbagai jenis serangga dan melindungi tanaman (Kaushal dkk., 2021). Organofosfat efektif menurunkan populasi serangga dengan cepat, tetapi persistensi organofosfat di lingkungan termasuk kategori sedang dan dapat bertahan di lingkungan untuk jangka waktu yang cukup lama (Rahmawati, 2014). Organofosfat merupakan insektisida ester asam fosfat atau asam tiofosfat yang bersifat paling toksik secara akut terhadap binatang bertulang belakang seperti ikan, burung, cecak dan mamalia (Hidayati, 2019). Menurut Sastroutomo dalam Zulkarnain (2010), pestisida organofosfat merupakan salah satu jenis pestisida yang diproduksi berkelanjutan karena sering digunakan oleh petani. Pada Tabel 2.1 menyajikan beberapa zat aktif organofosfat yang sering ditemukan beserta dengan jenis tanaman yang menggunakan zat aktif tersebut.

Tabel 2.1 Zat aktif pestisida organofosfat

No.	Zat Aktif	Jenis Tanaman
1	Diazinon	Cabai rawit merah
2	Profenofos	Cabai merah
3	Klorpirifos	Bawang merah
4	Fenitrotion	Cabai merah, selada, dan bawang merah
5	Triazopos	Padi, jagung, dan kacang tanah

Dalam penelitian Prananda (2017) dan Kizlyara (2019), menunjukkan bahwa pestisida golongan organofosfat sering ditemukan pada lahan pertanian di Kecamatan Cangkringan dan Pakem. Pestisida golongan organofosfat banyak digunakan sebagai pengganti insektisida organoklorin yang dilarang (Ratherd dan Nollet, 2012). Meskipun pestisida organofosfat tidak dilarang untuk dipasarkan di Indonesia, tetapi ada beberapa negara yang melarang penggunaannya. Namun, tidak ada daftar terinci negara mana yang melarang penggunaan pestisida organofosfat. Amerika Serikat dan Australia telah melakukan pemberhentian penggunaan pestisida Diazinon di dalam ruangan, pada pemotongan rumput, kebun, dan tanaman pangan (Budiyono, 2012). *Environmental Protection Agency* (EPA) melarang semua penggunaan Klorpirifos dalam produk makanan mulai tahun 2022. Untuk mengatur penggunaan pestisida organofosfat lebih lanjut, BAN OPs (*Banning All Neurotoxic Organophosphate Pesticides*) dalam undang-undang pangan melarang makanan mengandung residu organofosfat, tanpa adanya pengecualian dan terlepas dari toleransi yang ditetapkan oleh *Food and Drug Administration* (FDA) (NRDC, 2022).

Pestisida organofosfat bersifat larut dalam air, tidak persisten dan dapat meninggalkan residu pada tanaman dan tanah yang disemprotkan (Kadim dkk., 2013). Umumnya petani mengombinasikan 3-5 jenis pestisida organofosfat dengan frekuensi penyemprotan hampir setiap hari, terutama selama musim hujan (Nining dkk., 2019). Ketika pestisida dilepaskan ke lingkungan, pestisida dapat berpindah melalui sistem hidrologi ke sungai dan air tanah, sehingga dapat menimbulkan efek yang tidak diinginkan pada manusia dan lingkungan akuatik (Ryberg dan Giliom, 2015). Sebagian besar pestisida yang dilepaskan ke lingkungan diklasifikasikan sebagai zat beracun, dan interaksi toksikologis yang muncul juga telah diidentifikasi seperti mutagenisitas, karsinogenisitas, efek modulasi hormon dari

bahan kimia pengganggu endokrin lingkungan (EDC), dan efek imunomodulan (Székács dkk., 2015).

Residu pestisida yang terdapat di sekitar sungai terbawa oleh air hujan maupun air tanah sehingga menyebabkan penurunan kualitas air, akumulasi di dalam tubuh biota akuatik dan sedimen (Aryani dkk., 2013). Pestisida golongan organofosfat cenderung sangat cepat berikatan dengan bahan organik dalam lumpur dan sedimen. Walaupun pestisida organofosfat toksik bagi lingkungan, tetapi pestisida ini mudah untuk terdegradasi (Munarso, 2009). Pestisida organofosfat tidak terikat oleh koloid tanah, sehingga mudah mengalir bersama limpasan permukaan ke sungai dan waduk. Kondisi ini membantu meminimalkan potensi ancaman pencemaran sungai (Kusuma dan Lestari, 2021). Umumnya, air permukaan mengandung kadar pestisida yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan air tanah karena limpasan pestisida dari lahan pertanian dan kontaminasi semprotan (Anon, 1993).

Kontaminasi pestisida di sungai dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti frekuensi penggunaan, aktivitas pertanian, dan sifat fisikokimia pestisida (Aguilar dkk., 2017). Konsentrasi residu pestisida di sungai dipengaruhi oleh musim, seperti konsentrasi residu pestisida organofosfat lebih tinggi selama musim kemarau, dibandingkan musim hujan. Selama musim hujan konsentrasi residu pestisida cenderung berkurang akibat pengenceran air sungai oleh air hujan (Hellar dan Kihampa, 2011). Pestisida di sungai dapat mempengaruhi kualitas air, sedimen dan pada akhirnya mengancam organisme non-target yang terhubung dalam rantai makanan (Kaushik dkk., 2010). Kehidupan perairan yang terancam terkontaminasi oleh pestisida dapat berdampak negatif pada tanaman air, menurunkan kadar oksigen terlarut, dan menyebabkan perubahan fisiologis dan perubahan perilaku pada populasi ikan.

Kontaminasi pestisida organofosfat mempunyai dampak negatif yang signifikan pada kehidupan perairan. Berikut adalah beberapa ancaman besar terhadap kehidupan perairan akibat kontaminasi pestisida:

1. Paparan langsung: Organisme perairan terpapar pestisida melalui kontak kulit, penyerapan melalui insang, atau konsumsi makanan yang terkontaminasi. Hal ini dapat menyebabkan keracunan akut atau kronis,

yang dapat menyebabkan kematian atau masalah kesehatan jangka panjang.

2. Paparan tidak langsung: Pestisida dapat mempengaruhi kehidupan perairan secara tidak langsung melalui rantai makanan. Misalnya, ikan kecil mengandalkan zooplankton sebagai sumber makanan utamanya. Zooplankton dapat terbunuh oleh pestisida sehingga menyulitkan ikan-ikan kecil untuk mencari makanan. Hal ini dapat menyebabkan penurunan populasi ikan-ikan kecil, yang dapat menimbulkan efek riak pada seluruh ekosistem perairan.
3. Dampak pada habitat: Habitat perairan yang terkontaminasi oleh pestisida akan membunuh dan mempengaruhi tanaman air dan organisme lain yang menyediakan tempat berlindung dan makanan bagi kehidupan akuatik. Hal ini dapat menyebabkan penurunan populasi organisme akuatik dan hilangnya keanekaragaman hayati.

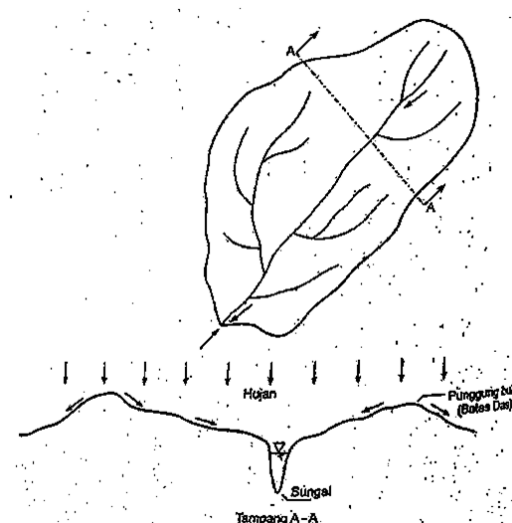
Penggunaan pestisida organofosfat pada lahan pertanian tidak hanya berdampak negatif pada kehidupan perairan, tetapi juga berdampak bagi manusia. Penggunaan pestisida organofosfat menimbulkan beberapa ancaman terhadap kesehatan manusia seperti berikut.

1. Paparan langsung
 - a. Keracunan akut: Manusia yang sering terpapar pestisida, khususnya petani yang menggunakan pestisida secara langsung, rentan terhadap keracunan akut. Hal ini dapat bermanifestasi sebagai pusing, muntah, mata berair, kulit gatal, kehilangan kesadaran dan berpotensi berakibat fatal.
 - b. Keracunan kronis: Akibat dari paparan pestisida organofosfat secara terus menerus akan menimbulkan gejala keracunan kronis seperti sakit kepala, masalah pencernaan, gangguan sistem saraf, kesulitan bernafas, dan komplikasi Kesehatan lainnya.
2. Paparan tidak langsung
 - a. Residu pestisida pada makanan: Mengonsumsi makanan yang mengandung residu pestisida organofosfat dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia yang berujung dengan keracunan kronis.

- b. Paparan udara: Manusia yang tinggal atau bekerja di sekitar lahan pertanian yang menggunakan pestisida organofosfat dapat terpapar pestisida melalui udara. Hal ini dapat menyebabkan masalah pernapasan, iritasi mata, sakit kepala, dan masalah kesehatan lainnya.
3. Dampak pada habitat: Penggunaan pestisida organofosfat dapat mengakibatkan hilangnya predator pada ekosistem sehingga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan berdampak pada kesehatan manusia.

2.2. Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS adalah suatu wilayah di permukaan bumi yang menampung air hujan dan mengalirkannya ke sungai atau badan air lainnya. DAS bertindak sebagai cekungan tangkapan yang mengarahkan air menuju titik hilir dari hulu. DAS besar yang bermuara ke laut terdiri dari sub DAS yang berukuran sedang, sedangkan sub-DAS merupakan gabungan dari beberapa sub DAS yang lebih kecil (Soewarno, 1991). Peta topografi dan garis kontur digunakan untuk menentukan batas suatu DAS. Garis kontur berperan dalam mengidentifikasi jalur limpasan permukaan. Limpasan mengalir dari titik tertinggi menuju titik yang lebih rendah dengan arah tegak lurus garis kontur (Triatmodjo, 2008). Gambar 2.1 mengilustrasikan bentuk khas dari suatu DAS.



Gambar 2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Pada Gambar 2.1, digambarkan penampang DAS, dengan garis batas yang menandai titik tertinggi. Air hujan yang jatuh pada batas tersebut akan mengalir ke sungai utama yang ditinjau, sedangkan air hujan yang jatuh di luar batas DAS akan mengalir ke sungai lain yang berada di sekitarnya (Triatmodjo, 2008). Ekosistem DAS hulu mempunyai peranan penting dalam melindungi keseluruhan DAS, khususnya dalam pengelolaan air (Asdak, 2014). Misalnya, ketika terdapat kegiatan pertanian di daerah hulu dapat berdampak pada debit sungai dan sedimen di hilir. Daerah hulu dan hilir DAS saling terhubung, sehingga setiap kegiatan yang dilakukan di daerah hulu akan mempengaruhi daerah tengah dan hilir secara signifikan (Suprayogi dkk., 2014).

DAS Opak merupakan daerah dengan konsentrasi penduduk yang relatif tinggi di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai Opak sebagai Sungai utama yang bermata air di kaki Gunung Merapi dan mengalir melalui Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul. DAS Opak memiliki beberapa potensi, di antaranya seperti berikut.

1. Potensi air tanah: DAS Opak memiliki sistem akuifer yang cukup besar dan potensi air tanah yang penting bagi keberlangsungan hidup masyarakat di sekitarnya
2. Potensi wisata: DAS Opak memiliki nilai sejarah dan budaya yang penting, terutama karena melewati beberapa lokasi bersejarah seperti Candi Prambanan dan Imogiri. Selain itu, DAS Opak juga memiliki potensi sebagai objek wisata alam, seperti air terjun dan pemandangan alam yang indah
3. Potensi pertanian: DAS Opak memiliki lahan pertanian yang cukup luas dan subur, sehingga memiliki potensi untuk pengembangan pertanian
4. Potensi energi: DAS Opak memiliki potensi untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro, terutama di daerah-daerah yang memiliki aliran air yang cukup besar

2.3. Limpasan Permukaan (*Runoff*)

Berdasarkan penelitian Harto (1993), pembentukan aliran sungai melibatkan kombinasi tiga jenis limpasan yaitu limpasan permukaan, menengah, dan dasar. Limpasan permukaan terjadi ketika intensitas curah hujan yang turun melebihi kapasitas infiltrasi tanah, sehingga menyebabkan air mengalir di atas permukaan tanah dan membawa partikel-partikel tanah bersamanya (Amirul dan Rahman, 2021). Limpasan permukaan dapat terjadi bila kondisi tertentu terpenuhi, yang meliputi:

1. Terjadi hujan atau pemberian air di permukaan,
2. Intensitas hujan melebihi laju dan kapasitas infiltrasi tanah, dan
3. Topografi dan kemiringan lereng memungkinkan air mengalir di permukaan.

Menurut Laoh (2002), jika suatu lahan memiliki vegetasi rapat maka air hujan akan meresap ke dalam tanah sehingga mengakibatkan berkurangnya limpasan permukaan. Lahan terbuka tanpa vegetasi menyebabkan akumulasi air hujan menjadi limpasan permukaan yang mengalir ke sungai dan meningkatkan aliran air sungai.

2.3.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Limpasan Permukaan

Faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan terbagi menjadi dua kategori, yaitu faktor meteorologi dan karakteristik DAS (Suripin, 2004). Sistem klasifikasi ini berfungsi sebagai alat bantu untuk memahami faktor-faktor yang berkontribusi terhadap limpasan.

1. Faktor meteorologi

Faktor meteorologi yang mempengaruhi limpasan kategori meliputi berbagai faktor yang diuraikan sebagai berikut (Amirul dan Rahman, 2021).

a. Intensitas curah hujan

Penentuan limpasan permukaan yang disebabkan oleh intensitas curah hujan dipengaruhi oleh kapasitas infiltrasi. Jika intensitas curah hujan melebihi kapasitas infiltrasi, maka limpasan permukaan akan meningkat. Namun, hal ini tidak sebanding dengan

peningkatan curah hujan yang disebabkan oleh pengaruh genangan pada permukaan tanah.

b. Durasi hujan

Penentuan lamanya durasi limpasan air pada suatu wilayah tertentu bergantung pada durasi curah hujan spesifiknya. Jika durasi curah hujan lebih pendek dari durasi curah hujan kritis, maka durasi limpasan akan tetap konstan dan tidak bergantung pada intensitas curah hujan. Sebaliknya, jika durasi curah hujan melebihi durasi curah hujan kritis, maka durasi limpasan akan meningkat, meskipun intensitas curah hujannya sedang. Lamanya durasi curah hujan akan menyebabkan penurunan kapasitas infiltrasi tanah.

c. Distribusi curah hujan

Pada dasarnya, laju dan volume limpasan puncak terjadi ketika seluruh DAS berkontribusi terhadap aliran tersebut. Namun pada kenyataannya, DAS yang memiliki intensitas curah hujan lebih tinggi cenderung menghasilkan limpasan yang lebih besar dibandingkan DAS yang memiliki intensitas curah hujan yang merata di seluruh DAS.

2. Karakteristik DAS

Menurut Seyhan (1990), fungsi karakteristik DAS adalah mengubah air hujan menjadi limpasan. Secara umum karakteristik DAS dikategorikan menjadi dua jenis yaitu faktor vegetasi dan faktor alam sebagai berikut.

a. Faktor vegetasi

Air hujan yang jatuh langsung ke permukaan tanah dapat berkurang karena rapatnya suatu vegetasi pada wilayah tersebut. Vegetasi berfungsi untuk meningkatkan permeabilitas tanah, sehingga menyebabkan tingkat infiltrasi yang lebih tinggi (Asdak, 2010).

b. Faktor alam

Karakteristik DAS dipengaruhi oleh berbagai faktor alam, antara lain topografi, morfometri, tanah dan geologi. Besar kecilnya

masuk air hujan ditentukan oleh topografi dan morfometri DAS. Dataran dengan elevasi yang lebih tinggi hingga elevasi tertentu akan menerima curah hujan yang lebih besar dibandingkan dengan dataran elevasi yang lebih rendah. Selain itu, semakin luas ukuran dari suatu DAS maka akan semakin tinggi masukan curah hujan.

3. Koefisien limpasan

Koefisien limpasan mewakili jumlah air hujan yang berubah menjadi limpasan permukaan pada wilayah tertentu. Permukaan tanah yang memiliki permeabilitas lebih rendah akan mempunyai koefisien limpasan yang lebih tinggi. Koefisien limpasan (C) menjadi nilai perbandingan antara jumlah limpasan permukaan dengan jumlah curah hujan pemicunya (Asdak, 2014). Nilai C dipengaruhi oleh laju infiltrasi tanah atau persentase permeabilitas tanah, kemiringan lahan (*slope*) yang dipengaruhi oleh tutupan lahan DAS dan intensitas hujan pada suatu DAS.

Limpasan permukaan dapat membawa berbagai zat pencemar seperti sampah, pupuk, pestisida, dan bahan lain yang berdampak buruk terhadap kualitas perairan dan mencemari ekosistem sungai dan laut. Zat pencemar dapat masuk ke dalam sungai melalui limpasan permukaan yang membawa zat pencemar tersebut dari permukaan tanah ke sungai. Pencemar masuk ke perairan melalui limpasan dari permukaan tanah wilayah pertanian yang mengandung pestisida dan pupuk. Pestisida dapat mencemari tanah, air, rumput, dan vegetasi lainnya. Selain membunuh serangga atau gulma, pestisida dapat menjadi racun bagi sejumlah organisme lain termasuk burung, ikan, serangga bermanfaat, dan tanaman non-target. Lebih dari 90 persen sampel air dan ikan dari semua sungai mengandung satu, atau lebih sering, beberapa pestisida.

2.4. Pemodelan Limpasan

Pemodelan limpasan hidrologi merupakan metode pendekatan yang digunakan untuk merepresentasikan aliran air dan unsur-unsur pokok lainnya, baik air permukaan ataupun air tanah. Pendekatan tersebut didasarkan pada konsep siklus hidrologi suatu sistem DAS dengan komponen penyusun berupa sistem lahan,

sumber daya air dan tanah, tumbuhan, dan sistem sosial kemasyarakatan. Kajian pemodelan hidrologi DAS bertujuan untuk mengembangkan model yang rasional, efektif, dan efisien yang dapat secara cepat mengevaluasi dan mengestimasi dampak hidrologi dari perubahan yang terjadi, baik alami maupun buatan manusia. Pemodelan hidrologi dapat bermanfaat dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan sumber daya air dan mitigasi bencana banjir. Beberapa komponen penting dari pemodelan hidrologi meliputi intersepsi, infiltrasi, dan limpasan permukaan. Ada berbagai jenis model hidrologi yang dapat digunakan untuk mengestimasi limpasan, antara lain:

1. Model Rasional: Berdasarkan jumlah curah hujan, luas daerah aliran, dan koefisien limpasan, model sederhana ini mampu menentukan besarnya debit limpasan,
2. Model Unit Hidrograf Sintetis: Model ini menggunakan pola distribusi hujan badai jam-jaman untuk menghitung limpasan. Untuk menghasilkan unit hidrograf sintetis, model ini mengandalkan data historis curah hujan dan limpasan.
3. Model Lumped: Model ini menganggap faktor yang berpengaruh terhadap limpasan seperti curah hujan, infiltrasi, dan evapotranspirasi terkonsentrasi pada satu titik di daerah aliran. Model ini sering digunakan karena sederhana dan memerlukan data yang sedikit.
4. Model SCS-CN: Model ini mempertimbangkan karakteristik tanah, penggunaan lahan, dan curah hujan untuk mengestimasi besarnya limpasan. Jika dibandingkan dengan model rasional model ini memerlukan data yang lebih detail dan kompleks, namun dapat memberikan hasil yang lebih akurat.
5. Model Distributed: Model ini membagi daerah aliran menjadi beberapa sub-daerah dan menentukan limpasan pada setiap sub-daerah. Meskipun memerlukan data yang lebih rumit dan komprehensif dibandingkan dengan model lumped, namun dapat memberikan hasil yang lebih akurat.

Pemilihan model hidrologi yang tepat tergantung pada tujuan analisis, data yang tersedia, dan kompleksitas daerah aliran yang akan dianalisis. Model-model di atas dapat digunakan untuk menghitung limpasan dan membantu dalam

perencanaan pengelolaan sumber daya air. Model Rasional dan model SCS adalah dua model sederhana yang dapat digunakan untuk mengestimasi limpasan dengan data yang bisa diakses dengan mudah, tetapi model SCS-CN mempunyai keunggulan karena selain sederhana dan mudah untuk digunakan, dari data yang kompleks dapat menghasilkan estimasi yang lebih akurat dibandingkan dengan model rasional.

2.4.1. *Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN)*

Model *Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN)* merupakan model hidrologi konseptual yang dikembangkan oleh *Natural Resources Conservation Service (NRCS)* dengan tujuan untuk membantu perencanaan pengelolaan sumber daya air dan pengendalian banjir dengan mempertimbangkan karakteristik DAS seperti jenis tanah, penggunaan lahan, kondisi permukaan tanah, dan kondisi kelembaban tanah (*Antecedent Moisture Condition*) (Asdak, 2004). Sifat dari curah hujan, penutupan lahan, dan jenis tanah yang bervariasi terhadap ruang (spasial) memerlukan proses pengolahan data dengan menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG). Perangkat lunak SIG mampu menampilkan, menyimpan, menganalisis, memperbaiki, dan menghasilkan data spasial (Smadi, 1998).

Umumnya, model SCS-CN digunakan untuk perencanaan pengelolaan sumber daya air dan pengendalian banjir di DAS kecil hingga sedang. Model ini efektif digunakan pada daerah DAS dengan luas kurang dari 250 km², tetapi membutuhkan data curah hujan harian dan karakteristik fisik DAS. Model SCS-CN dapat digunakan untuk memperkirakan volume limpasan permukaan, debit puncak, dan erosi tanah di suatu DAS. Untuk menyederhanakan pengolahan data, beberapa parameter yang sifatnya spasial dijadikan komposit. Model komposit (non-terdistribusi) menyederhanakan perhitungan dengan jumlah curah hujan diasumsikan sama untuk semua stasiun curah hujan dalam DAS. *Curve Number (CN)* dalam model SCS mewakili kemampuan suatu wilayah untuk menahan air hujan, dengan nilai yang lebih tinggi. Selain itu, model SCS memperhitungkan variabel seperti intensitas hujan, durasi, dan kelembapan tanah ketika menentukan curah hujan efektif.

2.4.2. Penerapan SCS-CN di Indonesia

Model SCS-CN telah diterapkan oleh berbagai penelitian di Indonesia, antara lain untuk mengestimasi limpasan permukaan, menghitung curah hujan efektif, menganalisis perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir, dan penelitian lainnya yang berkaitan dengan perencanaan pengelolaan sumber daya air dan pengendalian banjir. Berikut beberapa penelitian yang telah memanfaatkan model SCS-CN untuk mengestimasi limpasan permukaan di DAS.

1. Limpasan di DAS Semajid

Pada tahun 2023, Rama melakukan penelitian dengan judul “Pendugaan limpasan menggunakan Model SCS-CN di DAS Semajid, Kabupaten Pamekasan, Provinsi Jawa Timur“ dengan tujuan untuk mendapatkan estimasi limpasan yang terbaik. Penelitian ini memanfaatkan data penggunaan lahan, jenis tanah, dan nilai abstraksi curah hujan untuk menerapkan model SCS-CN di DAS Semajid. Hasil dari penelitian ini menemukan adanya korelasi yang kuat antara limpasan dengan kondisi kelembaban tanah yang berdampak pada nilai abstraksi awal. Dalam kasus penggunaan model SCS-CN di DAS Semajid, kombinasi data penutupan lahan (Landsat-8 resolusi 30 m diinterpretasi visual, KLHK) dengan data jenis tanah skala 1:5.000.000 (FAO) memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kombinasi data penutupan lahan (Sentinel-2 resolusi 10 m, diinterpretasi digital menggunakan artificial intelligence, ESRI) dengan data jenis tanah skala 1.50.000 (Pusat Penelitian Tanah).

2. Limpasan di DAS Citarum

Penelitian yang dilakukan oleh Nurqalbi (2022) menggunakan model SCS-CN untuk menentukan dan memetakan nilai CN serta limpasan permukaan di DAS Citarum. Data yang digunakan pada penelitian ini meliputi data tekstur tanah, jenis tutupan lahan, dan curah hujan. Nilai CN setiap satuan lahan diolah untuk memprediksi nilai limpasan permukaan dan dipetakan pada seluruh wilayah di DAS Citarum. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa satuan lahan terbangun memiliki nilai CN tertinggi, sedangkan satuan lahan

bervegetasi memiliki nilai CN terendah. Dari segi debit permukaan, sub DAS Cigundul memiliki nilai tertinggi sebesar 731 mm/tahun, sedangkan sub DAS Citarum Hulu memiliki nilai terendah sebesar 356,22 mm/tahun.

2.5. Predicted Environmental Concentrations (PEC)

Model *Predicted Environmental Concentrations* (PEC) adalah nilai yang dihitung dari konsentrasi pestisida dalam lingkungan berdasarkan model paparan seperti Sistem Uni Eropa untuk evaluasi. Model PEC digunakan untuk menentukan risiko suatu zat terhadap kompartemen lingkungan tertentu dengan membandingkan nilai *Predicted No-Effect Concentrations* (PNEC) dengan PEC. Apabila data paparan yang terukur tidak tersedia, model penilaian paparan dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat paparan lingkungan. Model PEC merupakan alat penting dalam penilaian risiko ekologi atau konsentrasi pestisida di lingkungan. Model ini membantu dalam mengidentifikasi potensi risiko suatu zat terhadap lingkungan dan dapat digunakan untuk mengembangkan strategi manajemen risiko yang efektif.

Selain untuk mengestimasi kandungan pestisida di dalam limpasan dan aliran Sungai. PEC dapat digunakan untuk mengestimasi risiko lingkungan dan kesehatan manusia akibat paparan bahan kimia, risiko eksobiologi herbisida di perairan rawa, membantu mengevaluasi penggunaan bahan kimia seperti DDT menggunakan model fugasitas, membantu dalam kegiatan pembangunan jaringan irigasi dan pengembangan rawa dan sungai, dan dapat digunakan dalam metode analisis sifat fisik tanah. PEC dapat dihitung menggunakan berbagai model, seperti EUSES (*European Union System for the Evaluation of Substances*). Namun, perlu diingat bahwa hasil estimasi yang diperoleh dari PEC hanya bersifat probabilistik dan tidak dapat dijadikan sebagai patokan pasti.

2.5.1 Penerapan PEC di Indonesia

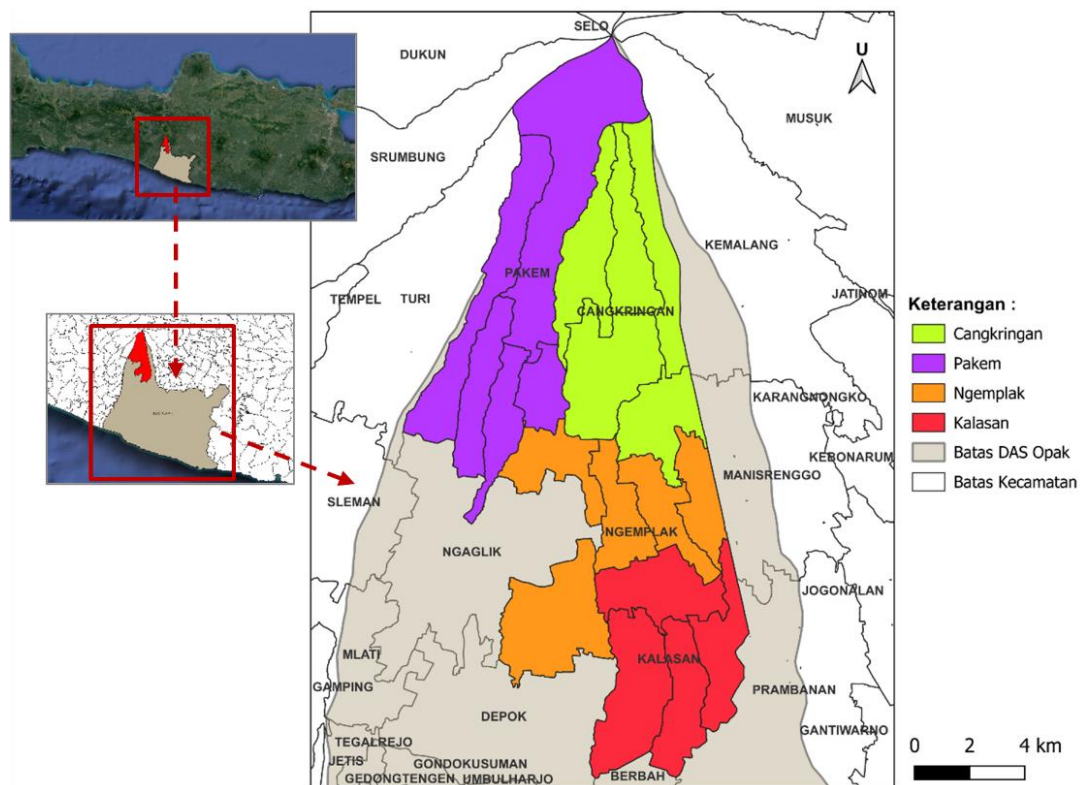
Model PEC merupakan model yang berguna untuk mengestimasi konsentrasi pestisida di lingkungan, namun pemanfaatannya masih terbatas di Indonesia. Dalam penelitian Utami dkk (2020) dengan judul "*Environmental*

prioritization of pesticide in the Upper Citarum River Basin, Indonesia, using predicted and measured concentrations”, model PEC digunakan untuk mengetahui mengestimasi konsentrasi bahan aktif pestisida yang ada di aliran sungai Citarum. Penelitian ini memperhitungkan persentase dosis penggunaan bahan aktif pestisida yang terdapat di air limpasan yang masuk ke aliran sungai, jumlah total bahan aktif pestisida yang digunakan di wilayah pertanian DAS Citarum Hulu, dan rata-rata debit aliran sungai Citarum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zat aktif Propineb memiliki nilai PEC tertinggi di DAS Citarum Hulu sebesar $3,6E+03$ ng/L, diikuti oleh Carbofuran sebesar $2,7E+02$ ng/L dan Methomyl sebesar $2,4E+02$ ng/L. Hasil konsentrasi PECs divalidasi menggunakan data konsentrasi MECs yang diukur menggunakan teknik *passive sampling*. Teknik *passive sampling* merupakan teknik sampling baru di Indonesia. Dalam penggunaan model PEC perlu diperhatikan bahwa PEC adalah sebuah perkiraan atau kemungkinan yang tidak selalu mencerminkan konsentrasi aktual pestisida di lingkungan.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Wilayah penelitian ini terletak di DAS Opak Hulu. DAS Opak Hulu merupakan DAS lintas wilayah yang mencakup Sebagian DIY dan sebagian Jawa Tengah. Secara administratif sub DAS Opak Hulu berada di tiga Kabupaten yaitu Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul, dan Kabupaten Klaten. Wilayah Sebagian besar (73,2%) DAS Opak Hulu merupakan wilayah Kabupaten Sleman. Hal ini menyebabkan Kabupaten Sleman memegang peran penting dalam pengelolaan DAS Opak Hulu. Penelitian dilakukan di wilayah Kabupaten Sleman meliputi Kecamatan Cangkringan (4553,25 ha), Kalasan (3474,93 ha), Ngemplak (3745,64 ha), dan Pakem (5330,50 ha). Peta wilayah penelitian DAS Opak Hulu disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta wilayah penelitian

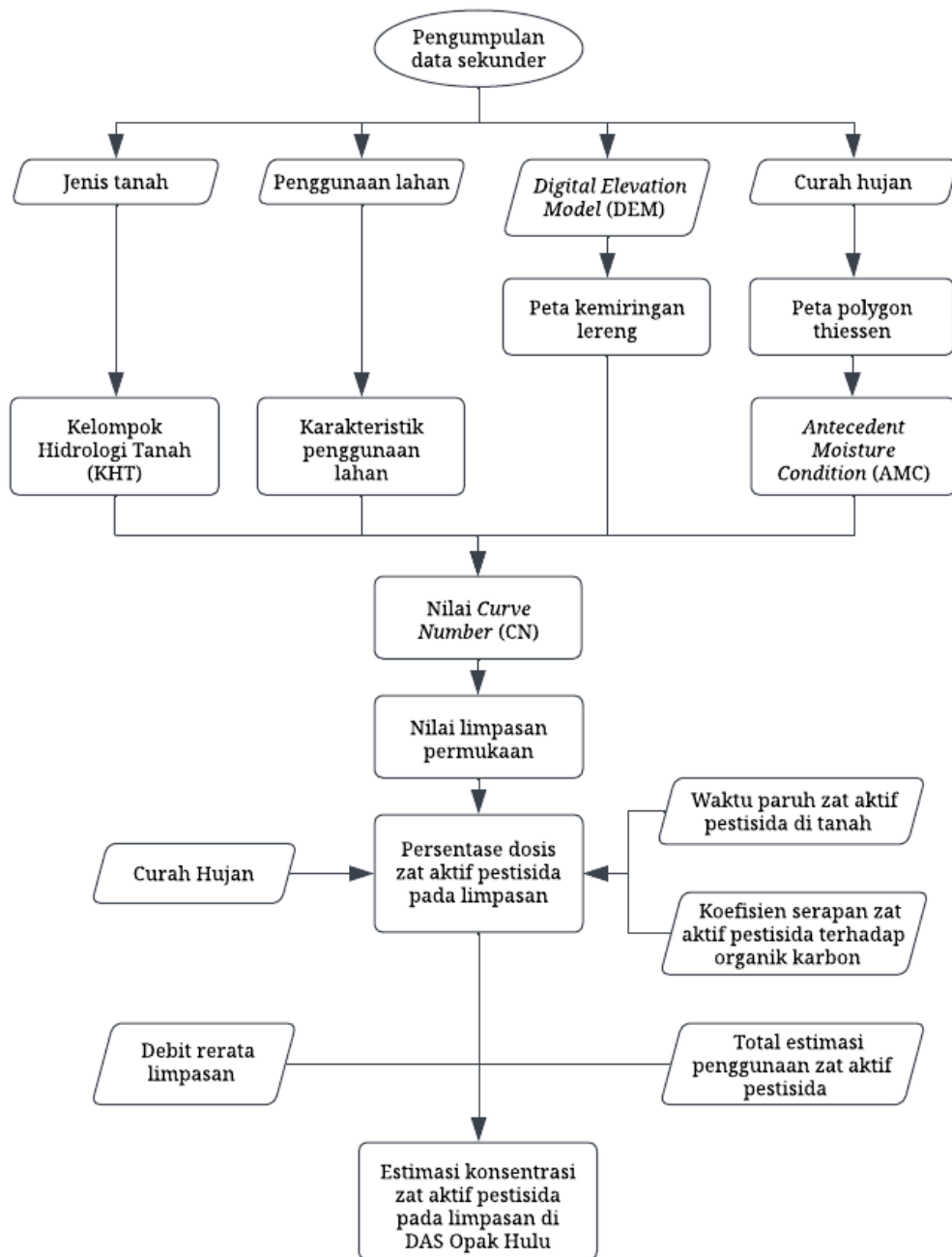
Pada masing-masing Kecamatan mencakup beberapa desa di dalamnya yaitu Kecamatan Cangkringan meliputi Argomulyo, Glagaharjo, Kepuharjo, Umbulharjo, dan Wukirsari. Kecamatan Kalasan meliputi Purwomartani, Selomartani, Tamanmartani, dan Tirtomartani. Kecamatan Ngemplak meliputi Bimomartani, Sindumartani, Umbulmartani, Wedomartani, dan Widodomartani serta Kecamatan Pakem meliputi Candibinangun, Hargobinangun, Harjobinangun, Pakembinangun, dan Purwobinangun.

3.2. Alur Penelitian

Penelitian ini hanya menggunakan data sekunder yang meliputi jenis tanah, penggunaan lahan, *Digital Elevation Model* (DEM), dan curah hujan. Hasil dari pengolahan keseluruhan data memungkinkan untuk menentukan nilai *Curve Number* (CN). Data jenis tanah pada daerah penelitian dibagi menjadi Kelompok Hidrologi Tanah (KHT). Data penggunaan lahan dianalisis untuk mengetahui karakteristik dari penggunaan lahan di DAS Opak Hulu. Kemiringan lereng ditentukan dengan mengolah data DEM menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data curah hujan pada penelitian ini tidak hanya digunakan untuk mengestimasi limpasan permukaan tetapi juga untuk mengestimasi persentase dosis zat aktif pestisida pada limpasan.

Setelah semua data sekunder diolah, nilai CN dapat ditentukan dan digunakan untuk mengestimasi nilai limpasan permukaan. Nilai limpasan permukaan beserta data curah hujan, waktu paruh zat aktif pestisida di dalam tanah, dan koefisien serapan zat aktif pestisida terhadap organik karbon, dimasukkan ke dalam persamaan persentase dosis zat aktif pestisida. Nantinya, persentase dosis zat aktif pestisida yang terkandung pada limpasan digunakan untuk mengestimasi konsentrasi zat aktif pestisida pada limpasan.

Untuk memperoleh hasil estimasi konsentrasi zat aktif pestisida pada limpasan di DAS Opak Hulu, maka total estimasi penggunaan zat aktif pestisida pada lahan pertanian Kecamatan Cangkringan dan Pakem dimasukkan ke dalam persamaan *Predicted Environmental Concentration* (PEC) beserta dengan persentase dosis zat aktif pestisida dan debit rerata limpasan di DAS Opak Hulu. Alur penelitian yang dilakukan tersaji pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

3.3. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari publikasi, instansi terkait dan hasil-hasil penelitian sebelumnya. Adapun data yang dibutuhkan tersebut disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data penelitian

No.	Jenis Data	Keterangan	Sumber Data
1	Curah Hujan Harian	<ul style="list-style-type: none"> Data Yang Tersedia Adalah Tahun 2018 - 2020 Stasiun Hujan Meliputi Bronggang, Cepit, Kalasan, Kempud dan Plunyon 	UPTD Timur Kabupaten Sleman Dan BBWS Progo Opak Serang
2	Peta Tutupan Lahan	Peta Tutupan Lahan Untuk Tahun 2019 - 2039	Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan (KLHK)
3	Peta Jenis Tanah	Peta DAS Opak	<i>Food And Agriculture Organization (FAO)</i>
4	<i>Digital Elevation Model (DEM) Shuttle Radar Topography Model (SRTM)</i>	DEM Mencakup Kabupaten Sleman	<i>United States Geological Survey (USGS)</i>
5	Peta Batas DAS Opak	SHP Batas DAS Opak	BPDAS Serayu Opak Progo
6	Jalur Sungai Opak	SHP Sungai Yang Berada Pada DAS Opak	
7	Dosis Pestisida Golongan Organofosfat	Penggunaan Pestisida Di Kecamatan Cangkringan (2017) Dan Kecamatan Pakem (2019)	Hasil Penelitian Prananda (2017) & Kizlyara (2019)
8	Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI)	Kecamatan-Kecamatan Di Kabupaten Sleman	Indonesia Geospasial

3.4. Pengolahan Data

3.4.1. Penentuan Nilai *Curve Number* (CN)

Penentuan nilai CN dilakukan untuk mengetahui keterkaitan antara tutupan lahan, tanah, dan *Antecedant Moisture Condition* (AMC). Data yang digunakan dalam menentukan nilai CN antara lain yaitu Kelompok Hidrologi Tanah (KHT), AMC, dan data tutupan lahan. Data tutupan lahan yang digunakan meliputi sawah dan pertanian lahan kering. Data KHT ditentukan berdasarkan salah satu dari sifat

fisik tanah berupa tekstur tanah (Arsyad, 2010). KHT yang telah ditentukan akan di *input* ke atribut peta satuan lahan sesuai dengan titik pengamatan.

SCS membedakan tiga kondisi kandungan air sebelumnya atau dikenal dengan AMC yaitu kondisi I, II, dan kondisi III (Schwab dkk., 1981). Kondisi ini dipengaruhi oleh data curah hujan 5 hari sebelumnya. Perlu juga diperhatikan apakah keadaan musim tanam pada daerah penelitian dalam keadaan musim tumbuh atau dorman, untuk penelitian ini digunakan keadaan pada musim tumbuh. Penentuan AMC pada penelitian ini menggunakan data curah hujan harian Tahun 2018-2020 dan dihitung setiap hari selama 365 hari. Berdasarkan nilai KHT dan AMC, kemudian ditentukan nilai bilangan kurva limpasan permukaan pada masing-masing satuan peta lahan. Nilai bilangan kurva limpasan permukaan dihitung setiap hari dalam 365 hari. Nilai AMC yang berbeda akan menghasilkan nilai bilangan kurva limpasan permukaan yang berbeda. Jika kondisi AMC daerah penelitian berada pada kondisi I atau III, perlu dilakukan konversi dari kondisi II dengan menggunakan Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2 berikut (Neitsch dkk., 2011).

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20 \times (100 - CN_2)}{(100 - CN_2 + \exp[0.00636 (100 - CN_2)])} \quad (3.1)$$

$$CN_3 = CN_2 \times \exp[0.00673 (100 - CN_2)] \quad (3.2)$$

dengan,

CN 1 : Bilangan kurva kondisi AMC I,

CN 2 : Bilangan kurva kondisi AMC II,

CN 3 : Bilangan kurva kondisi AMC III.

Perhitungan bilangan kurva limpasan permukaan komposit tiap sub DAS dilakukan setelah memperoleh nilai bilangan kurva aliran permukaan setiap satuan lahan. Hal ini dilakukan untuk memberi informasi nilai bilangan kurva limpasan permukaan pada DAS Opak Hulu. Perhitungan bilangan kurva komposit mengacu pada Persamaan 3.3 berikut.

$$CN_{\text{komposit}} = \frac{(CN_1 \times A_1) + (CN_2 \times A_2) + (CN_n \times A_n)}{A_{\text{total}}} \quad (3.3)$$

dengan,

CN 1, 2, n : Bilangan kurva untuk KHT tertentu dan jenis tutupan lahan,

CN 1, 2, n : Luasan untuk masing-masing bilangan kurva,

A total : Total luas tutupan lahan pada sub DAS.

Nilai AMC digunakan untuk menganalisis CN pada bulan atau musim kemarau. Nilai CN untuk AMC II didasarkan pada kondisi tanah rata-rata, sedangkan AMC III mencerminkan kondisi tanah jenuh di DAS dengan potensi limpasan yang tinggi. AMC III digunakan untuk menganalisis CN pada bulan basah atau musim hujan. Konversi nilai CN antara AMC I dan AMC III ditentukan oleh kondisi kelembaban tanah. Perubahan nilai CN pada AMC I dan AMC III bergantung pada kondisi AMC II. Nilai CN disajikan untuk setiap AMC karena kondisi tanah dapat bervariasi setiap harinya. Meskipun nilai CN pada suatu DAS tetap, namun mempunyai kisaran nilai yang bergantung pada kondisi tanah yang ada.

3.4.2. Analisis Limpasan Permukaan

Model yang digunakan untuk mengestimasi volume limpasan permukaan di DAS Opak adalah model *Soil Conservation Service-Curve Number* (SCS-CN). Setelah nilai CN diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai total simpanan permukaan (S) dengan Persamaan 3.4 berikut.

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (3.4)$$

dengan,

CN : Bilangan kurva limpasan yang bervariasi dari 0 hingga 100.

Nilai total simpanan permukaan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan untuk menghitung volume limpasan permukaan sebagai analisis limpasan permukaan dengan Persamaan 3.5 berikut.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (3.5)$$

dengan,

Q : Volume limpasan permukaan (mm)

P : Curah hujan sesaat (mm)

S : Total simpanan permukaan (mm)

3.4.3. Penentuan Persentase Dosis Aplikasi Pestisida

Untuk mengestimasi konsentrasi pestisida pada limpasan permukaan, penting untuk menentukan persentase dosis penggunaan pestisida yang terkandung dalam limpasan DAS sebagai zat terlarut yang akan masuk ke aliran sungai. Persentase dosis aplikasi pestisida dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.6 dari Reus dkk (1999) dalam Utami dkk (2020) berikut.

$$L\%_{\text{runoff}} = \frac{Q}{P} \times f \cdot \exp\left(-x \cdot \frac{\ln 2}{DT_{\text{soil}}}\right) \times \frac{100}{1 + Kd} \quad (3.6)$$

dengan,

Q : Volume limpasan permukaan (mm)

P : Curah hujan sesaat (mm)

f : Faktor koreksi ($f = f_1 \times f_2 \times f_3$)

f_1 : Faktor *slope* (jika *slope* < 20% maka, $f_1 = 0.02153 \times slope_1 + 0.001423 \times slope_2$. Jika *slope* \geq 20% maka $f_1 = 1$)

f_2 : *Plant interception factor* ($f_2 = 1 - (PI/100)$, dengan PI adalah *Plant Interception* (%))

f_3 : *Buffer zone factor* ($f_3 = 0.83 \times WBZ$)

x : Waktu antara kejadian limpasan yang mempengaruhi waktu peluruhan untuk 50% bahan aktif di tanah ($DT_{50\text{soil}}$)

$DT_{50\text{soil}}$: Waktu paruh zat aktif pestisida di tanah (hari)

- K_d : Rasio dari bahan aktif pestisida terlarut dengan konsentrasi pestisida yang terserap ($K_d = K_{OC} \times \%OC \times 1/100$)
- K_{OC} : Koefisien serapan dari bahan aktif pestisida terhadap organik karbon

3.4.4. Penentuan Estimasi Konsentrasi Zat Pestisida alam Limpasan

Estimasi konsentrasi pestisida pada limpasan dapat dilakukan setelah data yang dibutuhkan sebagai *input* persamaan telah terpenuhi. Setelah nilai persentase dosis penggunaan pestisida diketahui maka konsentrasi zat aktif pestisida dalam limpasan dapat diestimasi dengan melakukan perhitungan menggunakan Persamaan 3.7 berikut.

$$PEC = L\%_{runoff} \times P_{UCRB} \times \frac{1}{Q_{runoff} \times \Delta T} \quad (3.7)$$

dengan,

- P_{UCRB} : *Predicted Environmental Concentration*, atau konsentrasi prediksi bahan aktif pestisida di limpasan ($\mu\text{g/L}$)
- Q_{runoff} : Debit limpasan (L/detik)
- ΔT : Durasi tahunan (detik)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik DAS Opak Hulu

4.1.1 Topografi (Kemiringan Lereng)

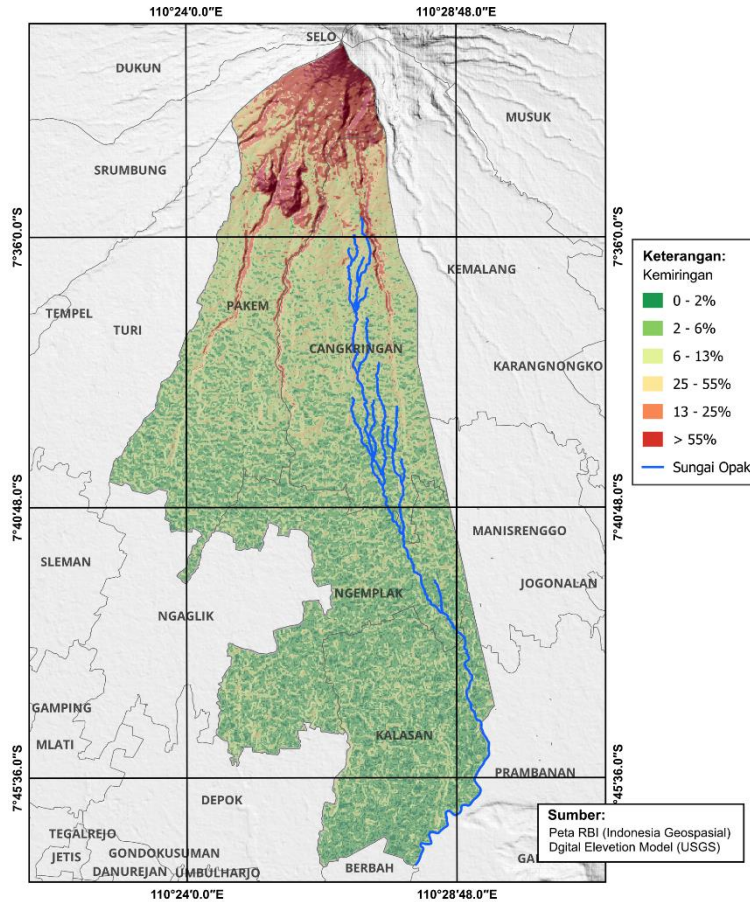
DAS Opak Hulu yang terletak di wilayah lereng gunung api memiliki kemiringan lereng yang bervariasi. Kemiringan lereng di DAS Opak Hulu diklasifikasikan ke dalam 6 kelas yaitu datar, sangat landai, landai, agak curam, curam dan sangat curam. Sebagian besar DAS Opak Hulu memiliki topografi sangat landai (38,56%) dan landai (34,56%) yang tersebar di Kecamatan Pakem, Cangkringan, Ngemplak, dan Kalasan. Sebaran dari kemiringan lereng tersebut tersaji pada Gambar 4.1. Di Kecamatan Cangkringan dan Pakem terdapat wilayah dengan luasan 40,53 Ha (0,89%) dan 373,83 Ha (7,01%) yang memiliki kemiringan lereng sangat curam.

Kemiringan mempengaruhi limpasan karena semakin curam kemiringan suatu daerah, maka semakin cepat air mengalir dan semakin sedikit air yang dapat diserap oleh tanah. Oleh karena itu, daerah dengan kemiringan yang lebih curam cenderung memiliki limpasan yang lebih besar dibandingkan dengan daerah yang kemiringannya lebih landai. Persentase dan luasan kemiringan lereng DAS Opak Hulu disajikan secara keseluruhan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Persentase dan luasan kemiringan lereng DAS Opak Hulu

No.	Kemiringan Lereng		Luas (Ha)	%
1	Datar	0 - 2%	1.328,56	7,77
2	Sangat Landai	2 - 6%	6.595,91	38,56
3	Landai	6 - 13%	5.910,83	34,56
4	Agak Curam	13 - 25%	1.718,80	10,05
5	Curam	25 - 55%	1.135,76	6,64
6	Sangat Curam	> 55%	414,36	2,42
Total			17.104,22	100

Sumber: Hasil analisis DEM SRTM



Gambar 4.1 Peta kemiringan lereng DAS Opak Hulu

Kemiringan mempengaruhi limpasan karena semakin curam kemiringan suatu daerah, maka semakin cepat air mengalir dan semakin sedikit air yang dapat diserap oleh tanah. Oleh karena itu, daerah dengan kemiringan yang lebih curam cenderung memiliki limpasan yang lebih besar dibandingkan dengan daerah yang kemiringannya lebih landai. Dengan dominasi kemiringan yang sangat landai, limpasan pada DAS Opak hulu di Kecamatan Ngemplak dan Kecamatan Kalasan, tidak terlalu memberikan limpasan yang besar jika dibandingkan dengan kecamatan pakem dan Cangkringan yang memiliki kemiringan curam. Hal ini dikarenakan lokasi dari Kecamatan Cangkringan dan Pakem yang berdekatan dengan lereng Gunung Merapi

4.1.2 Jenis Tanah

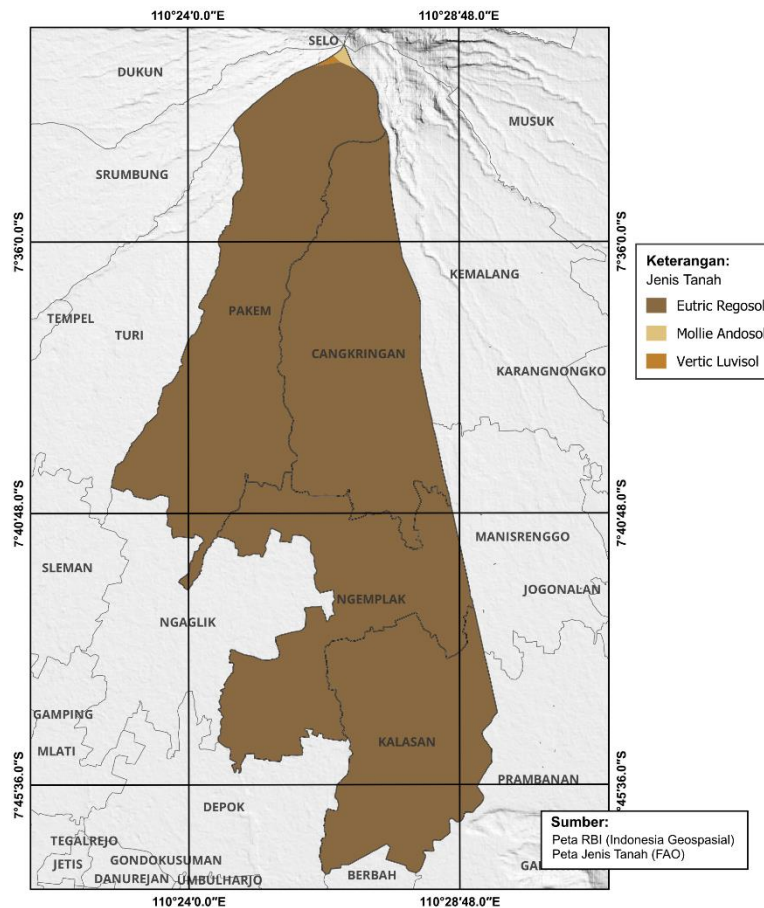
Berdasarkan data yang bersumber dari FAO, jenis tanah di DAS Opak Hulu terbagi menjadi tiga jenis yaitu Vertic Luvisol, Mollie Andosol, dan Eutric Regosol. DAS Opak Hulu didominasi oleh jenis tanah Eutric Regosol dengan total luas

17.071,34 Ha atau 99,81% dari total luasan sebesar 17.104,22 Ha yang tersaji pada Gambar 4.2. Jenis tanah regosol memang banyak tersebar di wilayah gunung api, karena terbentuk dari endapan abu vulkanis baru yang memiliki butir kasar. Jenis tanah DAS Opak Hulu memiliki tiga jenis tekstur tanah yang berbeda yaitu liat (*clay*), lempung (*loam*), dan lempung berpasir (*sandy loam*). Persentase dan luasan jenis tanah DAS Opak Hulu disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Persentase dan luasan jenis tanah DAS Opak Hulu

No.	Jenis Tanah	Tekstur Tanah	Luas (Ha)	%
1	Vertic Luvisol	Liat	11,11	0,06
2	Mollie Andosol	Lempung	21,77	0,13
3	Eutric Regosol	Lempung Berpasir	17.071,34	99,81
Total			17.104,22	100

Sumber: Food and Agriculture Organization (FAO)



Gambar 4.2 Peta jenis tanah DAS Opak Hulu

Tanah memiliki pengaruh yang signifikan pada limpasan karena kemampuannya dalam menyerap air hujan. Tanah yang memiliki sifat fisik yang

baik seperti porositas dan permeabilitas yang tinggi, mampu menyerap air hujan dengan baik sehingga mengurangi jumlah limpasan permukaan. Sebaliknya, tanah yang memiliki sifat fisik yang buruk seperti porositas dan permeabilitas yang rendah, tidak mampu menyerap air hujan dengan baik sehingga menyebabkan terjadinya limpasan permukaan yang lebih besar.

Selain itu, jenis tanah juga mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap air hujan. Tanah yang berpasir cenderung memiliki kemampuan menyerap air yang lebih baik dibandingkan dengan tanah yang berlempung. Hal ini disebabkan karena butir-butir pasir yang lebih besar dan tidak saling berdekatan sehingga memungkinkan air untuk meresap ke dalam tanah dengan lebih mudah.

Tanah lempung berpasir mendominasi wilayah lereng Merapi karena memiliki sifat-sifat yang mendukung pertumbuhan tanaman. Berikut adalah sifat-sifat dari lempung berpasir:

1. Agak kasar: Tanah terasa kasar karena memiliki kandungan pasir yang cukup tinggi.
2. Kaya bahan organik: Tanah ini memiliki kandungan bahan organik yang cukup tinggi sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman.
3. Kaya unsur hara: Tanah ini juga kaya akan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman untuk tumbuh dengan baik.
4. Kemampuan menahan air: Tanah ini memiliki kemampuan menahan air yang cukup baik sehingga dapat menghindari terjadinya erosi pada lereng Merapi.

Selain itu, lempung berpasir juga memiliki kemampuan drainase yang baik sehingga air dapat mengalir dengan lancar dan tidak menumpuk pada permukaan tanah.

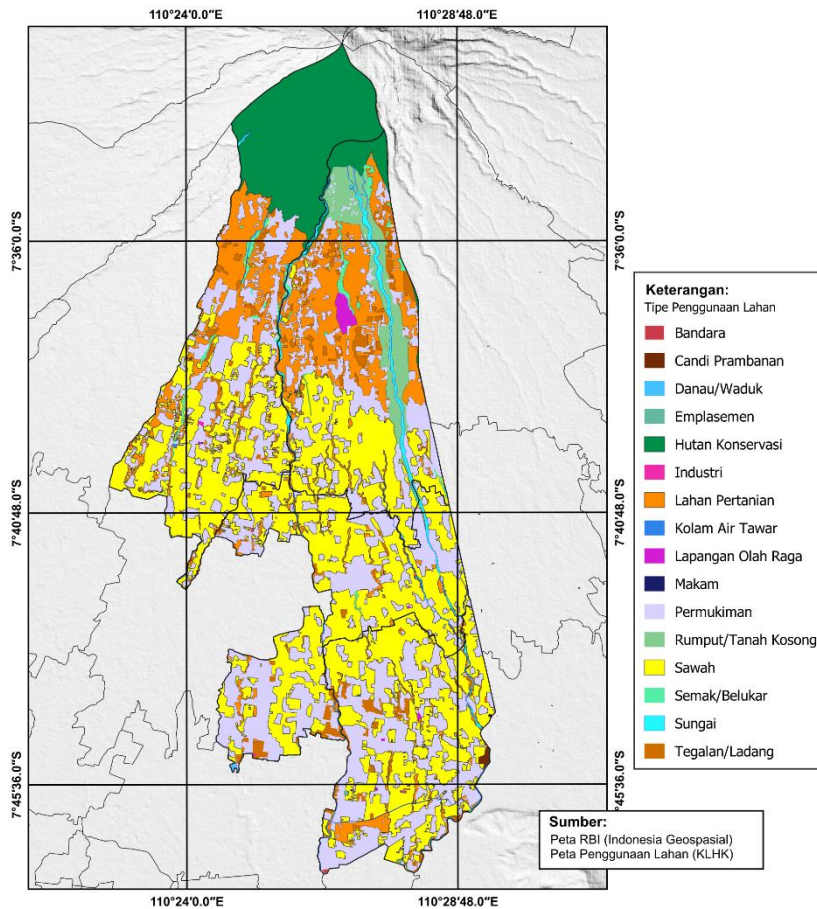
4.1.3 Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan di DAS Opak Hulu diklasifikasikan menjadi enam belas tipe penggunaan lahan seperti bandara, hutan konservasi, pemukiman, tegalan/ladang, dan tipe penggunaan lainnya. Persentase dan luasan dari tipe penggunaan lahan DAS Opak Hulu tersaji pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Persentase dan luasan penggunaan lahan DAS Opak Hulu

No.	Tipe Penggunaan Lahan	Luas	
		Ha	%
1	Bandara	3,28	0,02
2	Candi Prambanan	13,24	0,08
3	Danau/Waduk	4,84	0,03
4	Emplasemen	3,78	0,02
5	Hutan Konservasi	1.839,54	10,75
6	Industri	5,73	0,03
7	Lahan Pertanian	2.585,26	15,11
8	Kolam Air Tawar	2,67	0,02
9	Lapangan Olah Raga	61,57	0,36
10	Makam	1,51	0,01
11	Permukiman	5.005,28	29,26
12	Rumput/Tanah Kosong	565,29	3,30
13	Sawah	6.074,63	35,52
14	Semak/Belukar	150,49	0,88
15	Sungai	258,62	1,51
16	Tegalan/Ladang	528,48	3,09
Total		17.104,22	100

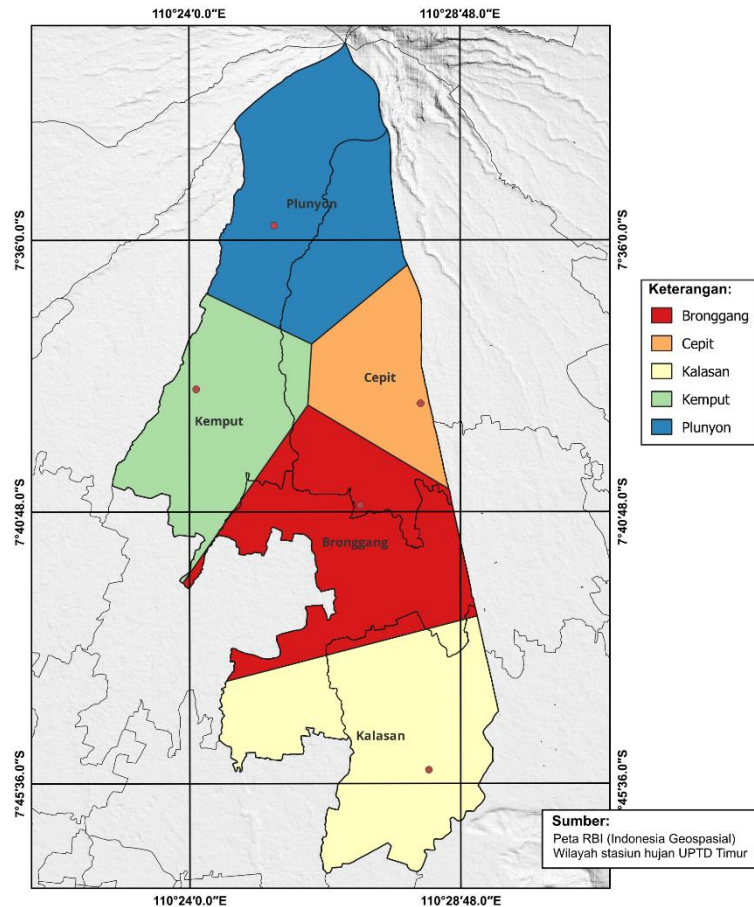
Sebagian besar lahan di DAS Opak Hulu dimanfaatkan sebagai lahan pertanian, pemukiman dan sawah dengan luasan sebesar 2.585,26 Ha (15,11%), 5.005,28 Ha (29,26%), dan 6.074,63 Ha (35,51%). Tipe penggunaan lahan di DAS Opak Hulu tersaji pada Gambar 4.3. Penggunaan lahan vegetasi di DAS Opak Hulu lebih dominan dibandingkan dengan lahan terbangun yaitu sebesar 68,66% dari total keseluruhan wilayah. Pada Gambar 4.3, terlihat bahwa kawasan lereng Merapi masih dipenuhi oleh hutan konservasi dan sekeliling aliran Sungai Opak ditumbuhi oleh rerumputan. Hutan konservasi mempunyai peran penting dalam menjaga keanekaragaman hayati dan ekosistem di kawasan DAS Opak Hulu. Selain itu, hutan konservasi berperan sebagai daerah resapan air alami yang membantu mengurangi terjadinya limpasan permukaan, sehingga memperkecil risiko banjir dan erosi.



Gambar 4.3 Peta penggunaan lahan DAS Opak Hulu

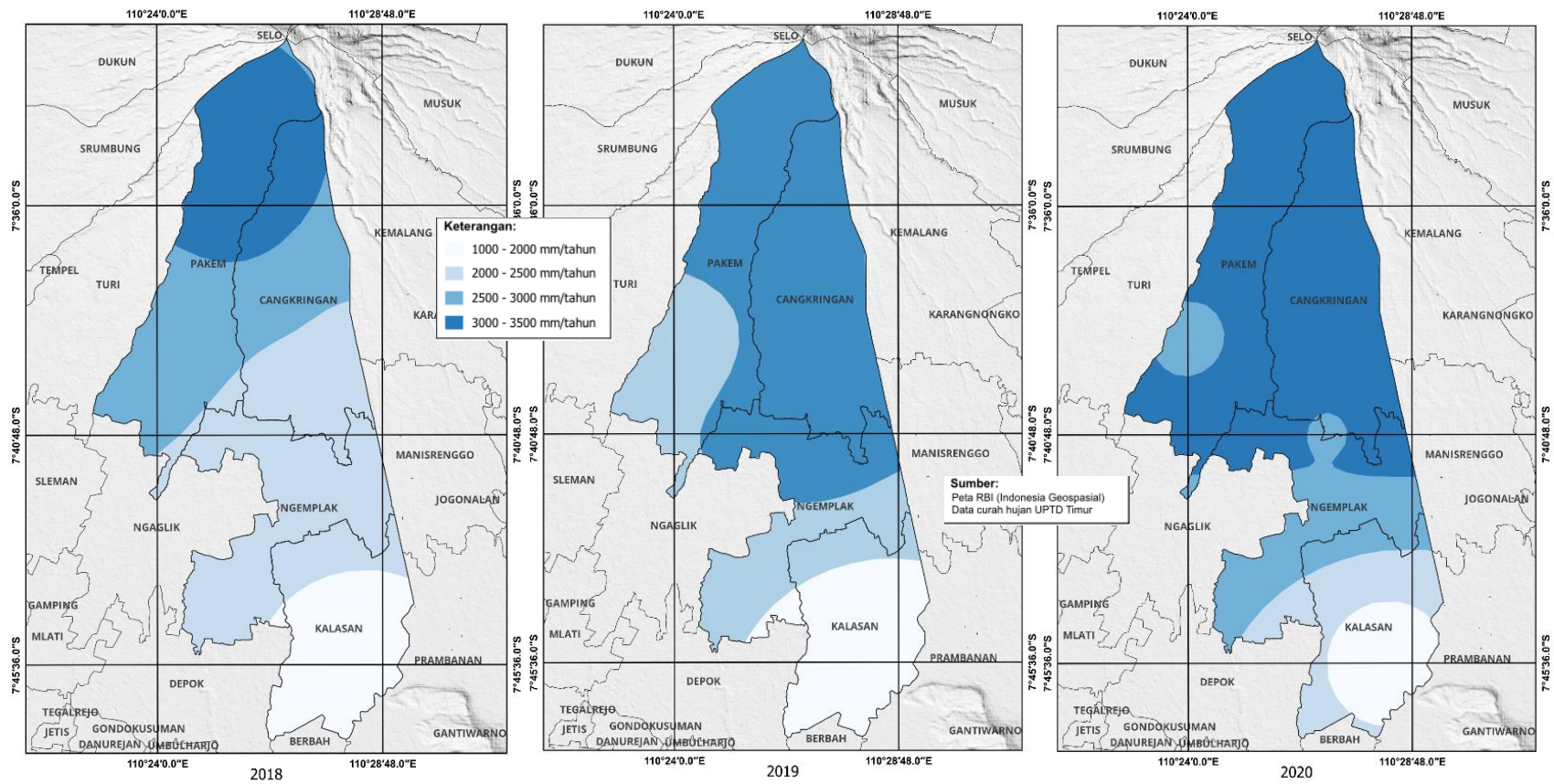
4.1.4 Curah Hujan

Penelitian ini memanfaatkan data curah hujan bersumber dari lima stasiun hujan di DAS Opak Hulu yaitu Bronggang, Cepit, Kalasan, Kemptu dan Plunyon. Berdasarkan hasil metode polygon thiesen yang tersaji pada Gambar 4.4, menunjukkan bahwa stasiun hujan Kalasan mempunyai cakupan penakar curah hujan terluas di wilayah penelitian, yakni seluas 4.419,51 Ha atau 25,84% dari total keseluruhan wilayah penelitian. Cakupan ini meliputi seluruh wilayah Kecamatan Kalasan dan sebagian wilayah Kecamatan Ngemplak. Tidak berbeda jauh dengan stasiun Kalasan, wilayah cakupan penakar curah hujan stasiun Plunyon sebesar 4.109,98 Ha yang meliputi Kecamatan Ngemplak, Pakem, dan Cangkringan.



Gambar 4.4 Peta polygon thiessen stasiun curah hujan DAS Opak Hulu

Curah hujan rata-rata tahunan di DAS Opak Hulu sebesar 2.585,65 mm/tahun selama periode 2018 - 2020. Pada tahun 2018, curah hujan di DAS Opak Hulu sebesar 2.489,83 mm/tahun dan mengalami penurunan menjadi 2.359,80 mm/tahun pada tahun 2019. Pada tahun 2020 terjadi peningkatan sebesar 2.907,31 mm/tahun akibat terjadinya peristiwa La Nina dengan kekuatan lemah hingga sedang pada pertengahan tahun. La Nina merupakan salah satu anomali iklim yang menyebabkan cuaca ekstrem (Harahap, 2023). Ketersediaan air yang berlebihan dan banjir dapat mengakibatkan gagal panen (Estiningtyas, 2018). La Nina terjadi selama hampir 3 tahun, sehingga mengakibatkan peningkatan jumlah hari hujan dan curah hujan secara keseluruhan dibandingkan kondisi normal (Harahap, 2023). Untuk melihat sebaran intensitas curah hujan di DAS Opak Hulu dilakukan interpolasi terhadap data curah hujan yang disajikan pada Gambar 4.5.



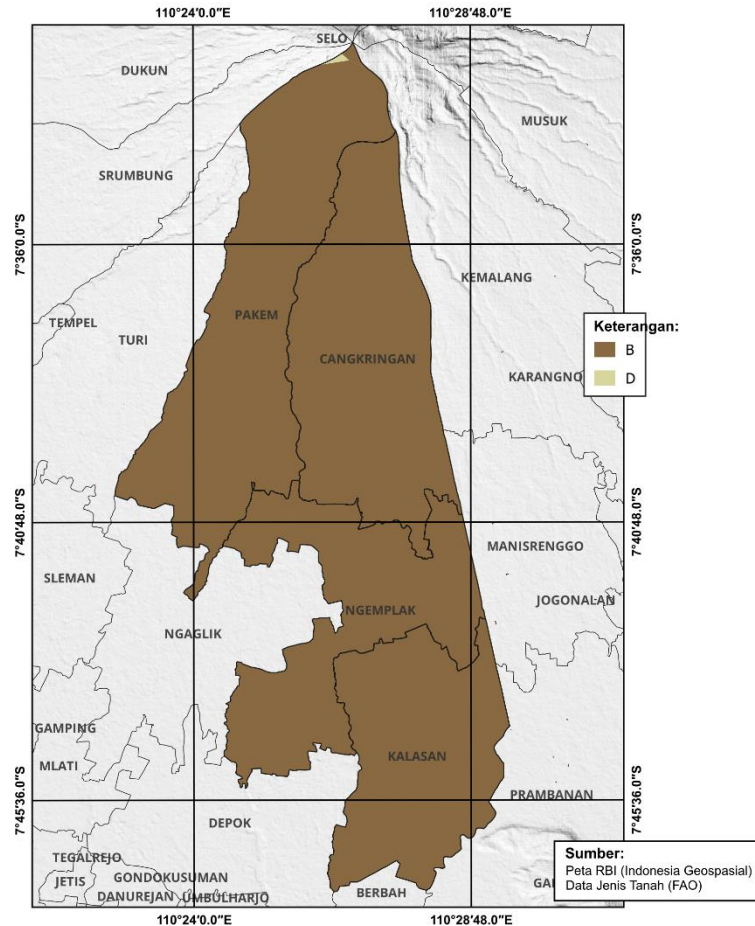
Gambar 4.5 Peta intensitas curah hujan DAS Opak Hulu tahun 2018 - 2020

Berdasarkan hasil interpolasi, terlihat bahwa antara tahun 2018 - 2020, intensitas curah hujan terus meningkat dan menyebar ke wilayah yang lebih luas. Pada tahun 2018, intensitas curah hujan tinggi hanya terbatas di wilayah Gunung Merapi dan menurun menuju wilayah Kalasan. Namun pada tahun 2020, curah hujan dengan intensitas tinggi tersebar luas di sebagian besar DAS Opak Hulu di Kabupaten Sleman. Fenomena ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain ketinggian suatu daerah dan arah angin. Umumnya wilayah yang lebih tinggi mengalami curah hujan lebih banyak, dan lokasi yang dekat dengan Gunung Merapi cenderung memiliki intensitas curah hujan yang tinggi. Di sisi lain, arah angin mempengaruhi distribusi curah hujan, dan wilayah yang menerima sedikit angin cenderung tidak mengalami hujan. Selain itu, intensitas curah hujan ekstrem telah terjadi dalam beberapa dekade terakhir akibat meningkatnya suhu karena pemanasan global.

4.2. Limpasan di DAS Opak Hulu

4.2.1 Kelompok Hidrologi Tanah (KHT)

DAS Opak Hulu didominasi oleh KHT B yang termasuk dalam kelompok hidrologi sedang. Lahan dengan persentase pasir yang lebih besar dibandingkan persentase liat digolongkan ke dalam KHT B. KHT B memiliki tekstur berpasir dan mempunyai potensi limpasan sedang dengan rentang tekstur 50 – 90% pasir dan 10 – 20% lempung. Sebaliknya, KHT D memiliki tekstur liat dengan laju infiltrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan KHT B. Pada Gambar 4.6 menggambarkan sebaran dari KHT di DAS Opak Hulu, di mana KHT B mendominasi DAS Opak Hulu seluas 17.093,11 Ha atau 99,94% dari total luas wilayah, dengan tekstur lempung berpasir dan lempung. Seperti terlihat pada Gambar di atas, terdapat KHT yang berbeda pada wilayah Pakem bagian atas yaitu KHT D seluas 11,11 Ha atau 0,06% dari total luas wilayah Pakem yang mencapai 5.330,38 Ha. KHT di DAS Opak Hulu dicirikan memiliki laju infiltrasi rendah dan sifat infiltrasi air yang kurang sehingga dapat mengakibatkan terjadinya genangan air yang berkepanjangan.



Gambar 4.6 Peta Kelompok Hidrologi Tanah (KHT) DAS Opak Hulu

4.2.2 *Antecedent Moisture Condition (AMC)*

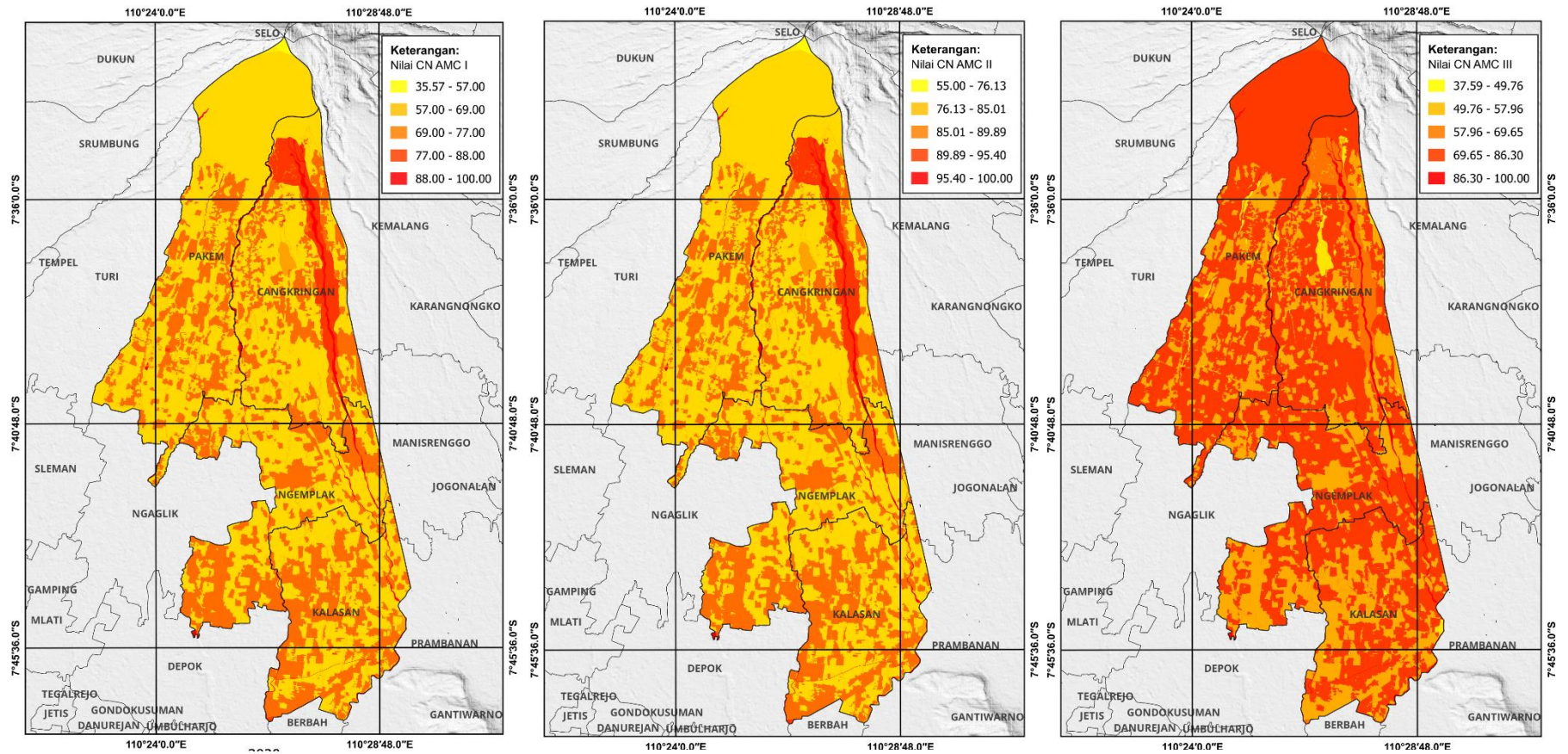
Perhitungan nilai AMC dilakukan setiap hari selama 365 hari dengan memperhitungkan curah hujan tahun 2018 - 2020, sehingga nilai AMC yang diperoleh setiap harinya bervariasi meliputi AMC I, II, dan III. Pada awal tahun periode 2018 – 2020 didominasi oleh AMC III tetapi pada pertengahan tahun didominasi oleh AMC I karena intensitas curah hujan yang rendah. Tanah dengan kadar air tinggi atau kondisi jenuh air menyebabkan limpasan permukaan meningkat, sedangkan tanah dengan kadar air rendah atau kondisi kering mengakibatkan limpasan permukaan kecil. Nilai AMC dapat memodifikasi nilai CN berdasarkan KHT dan dapat mempengaruhi reaksi tanah terhadap infiltrasi. Pada kondisi tanah kering (AMC I), kapasitas infiltrasi tanah lebih baik dibandingkan pada kondisi tanah normal (AMC II) atau lembap (AMC III). Kapasitas infiltrasi tanah berpengaruh pada besarnya limpasan yang terjadi. AMC-

I yang mempunyai kondisi tanah kering memiliki kapasitas infiltrasi yang tinggi sehingga limpasan permukaan rendah. Sebaliknya, pada kondisi tanah lembap (AMC III), kapasitas infiltrasinya rendah sehingga mengakibatkan limpasan permukaan tinggi.

4.2.3 Nilai *Curve Number* (CN)

DAS merupakan sistem alami yang secara efektif mengumpulkan, menyimpan, dan menyalurkan curah hujan ke sungai atau ke laut secara alami. Selama periode intensitas curah hujan tinggi, limpasan permukaan terjadi saat air mengalir melintasi daratan. Laju limpasan juga dikenal dengan istilah debit aliran. Besar debit aliran ditentukan oleh luas penampang air dan kecepatan alirannya. Adapun faktor yang mempengaruhi sifat limpasan yaitu curah hujan, temperatur, tanah, luas daerah aliran, tanaman/tumbuhan penutup tanah dan sistem pengelolaan tanah (Arsyad 2010).

Data penggunaan lahan pertanian dan sawah adalah penggunaan lahan utama pada penelitian ini. Nilai CN satuan lahan bervariasi pada setiap AMC, baik AMC I, AMC II, maupun AMC III. Peta nilai CN pada AMC I, II, dan III pada wilayah penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.7. Nilai CN satuan lahan tertinggi pada AMC I, II, dan III secara berturut-turut sebesar 100 di DAS Opak Hulu dengan tutupan lahan berupa badan air, sedangkan nilai CN terendah pada AMC I, II, dan III adalah hutan konservasi sebesar 36, 55, dan 74. Tinggi rendahnya nilai satuan lahan berpengaruh pada kapasitas infiltrasi penggunaan lahan, di mana nilai satuan lahan rendah maka kapasitas infiltrasinya akan tinggi.



Gambar 4.7 Peta CN pada AMC I, II, dan III DAS Opak Hulu

Nilai CN komposit pada AMC I, II, dan III di DAS Opak Hulu pada tutupan lahan utama disajikan pada Tabel 4.4. Berikut adalah contoh perhitungan nilai CN komposit pada AMC I, II, dan III untuk lahan pertanian.

Diketahui :

- Luas lahan = 2.585,26 Ha
- KHT B : $CN_B = 67$
- KHT D : $CN_D = 80$

Dihitung :

a. $CN_{\text{tertimbang}} = \text{nilai CN} \times \text{luas lahan}$

KHT B

$$CN_{\text{tertimbang}} = 67 \times 2.585,26 \text{ Ha}$$

$$= 173.212,09$$

KHT D

$$CN_{\text{tertimbang}} = 80 \times 2.585,26 \text{ Ha}$$

$$= 206.820,40$$

b. $CN_{\text{Komposit II}} = CN_{\text{tertimbang}} \times \text{luas lahan}$

KHT B

$$CN_{\text{Komposit II}} = 173.212,09 \times 2.585,26 \text{ Ha}$$

$$= 67$$

KHT D

$$CN_{\text{Komposit II}} = 206.820,40 \times 2.585,26 \text{ Ha}$$

$$= 80$$

c. $CN_{\text{Komposit III}} = CN_2 \times \exp[0,00673 (100 - CN_2)]$

KHT B

$$CN_{\text{Komposit III}} = 67 \times \exp [0.00673 (100 - 67)]$$

$$= 67 \times 1,25$$

$$= 84$$

KHT D

$$\begin{aligned} \text{CN}_{\text{Komposit III}} &= 80 \times \exp [0,00673 (100 - 80)] \\ &= 80 \times 1,14 \\ &= 92 \end{aligned}$$

$$\text{d. } \text{CN}_{\text{Komposit I}} = \text{CN}_2 - \frac{20 \times (100 - \text{CN}_2)}{(100 - \text{CN}_2 + \exp[0,00636 (100 - \text{CN}_2)])}$$

KHT B

$$\begin{aligned} \text{CN}_{\text{Komposit I}} &= 67 - \frac{20 \times (100 - 67)}{(100 - 67 + \exp[0,00636 (100 - 67)])} \\ &= 67 - \frac{660}{34,23} \\ &= 48 \end{aligned}$$

KHT D

$$\begin{aligned} \text{CN}_{\text{Komposit I}} &= 80 - \frac{400}{(100 - 80 + \exp[0,00636 (100 - 80)])} \\ &= 80 - \frac{400}{21,14} \\ &= 61 \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Nilai CN komposit pada AMC I, II, dan III di lahan pertanian dan sawah

Tutupan Lahan	KHT	Luas (Ha)	Luas (%)	Angka CN	CN Tertimbang
Lahan Pertanian	B	2.585,26	15,11	67	173.212,09
	D			80	206.820,40
Angka CN II komposit					67
Angka CN III komposit					84
Angka CN I komposit					48
Sawah	B	6.074,63	35,52	71	431.298,85
	D			81	492.045,17
Angka CN II komposit					71
Angka CN III komposit					86
Angka CN I komposit					52

4.2.4 Limpasan Permukaan

Besarnya limpasan permukaan dipengaruhi oleh curah hujan, penggunaan lahan, dan kelembaban tanah. Danau/waduk, kolam air tawar dan sungai menyumbang volume limpasan tertinggi dengan rata-rata 2.570,12 mm/tahun,

sedangkan hutan konservasi memiliki volume limpasan terendah di DAS Opak Hulu, yaitu rata-rata 88,84 mm/tahun dikarenakan infiltrasi dari hutan tergolong tinggi. Untuk lahan terbangun, kawasan industri termasuk penyumbang limpasan tertinggi dengan rata-rata 966,67 mm/tahun. Sedangkan, berikut adalah contoh perhitungan volume limpasan untuk lahan pertanian tahun 2018 - 2020.

Diketahui :

1. 1 Februari 2018
 - Curah Hujan (P) = 38,95 mm
 - AMC = 40 (AMC II)
 - Nilai CN = 67
2. 17 Maret 2019
 - Curah Hujan (P) = 57,74 mm
 - AMC = 92 (AMC III)
 - Nilai CN = 84
3. 27 Oktober 2020
 - Curah Hujan (P) = 58,66 mm
 - AMC = 27 (AMC I)
 - Nilai CN = 48

Dihitung :

1. 1 Februari 2018
 - a. $S = \frac{25.400}{CN} - 254$
 $= \frac{25.400}{67} - 254$
 $= 125,10 \text{ mm}$
 - b. $(P - 0.2S)^2 = (38,95 \text{ mm} - 0,2(125,10))^2$
 $= 13,93^2 \text{ mm}$
 $= 194,14 \text{ mm}$
 - c. $(P + 0.8S) = 38,95 \text{ mm} + 0,8(125,10)$
 $= 139,04 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \text{d. } Q &= \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \\
 &= \frac{194,14 \text{ mm}}{139,04 \text{ mm}} \\
 &= 1,39 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. 17 Maret 2019

$$\begin{aligned}
 \text{a. } S &= \frac{25.400}{84} - 254 \\
 &= 49,60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } (P - 0.2S)^2 &= (57,74 \text{ mm} - 0,2(49,60))^2 \\
 &= 47,82^2 \text{ mm} \\
 &= 2286,66 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. } (P + 0.8S) &= 57,74 \text{ mm} + 0,8(49,60) \\
 &= 97,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. } Q &= \frac{2286,66 \text{ mm}}{97,42 \text{ mm}} \\
 &= 23,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3. 27 Oktober 2020

$$\begin{aligned}
 \text{a. } S &= \frac{25.400}{48} - 254 \\
 &= 278,26 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } (P - 0.2S)^2 &= (58,66 \text{ mm} - 0,2(278,26))^2 \\
 &= 3,002^2 \text{ mm} \\
 &= 9,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. } (P + 0.8S) &= 58,66 \text{ mm} + 0,8(278,26) \\
 &= 281,27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. } Q &= \frac{9,02 \text{ mm}}{281,27 \text{ mm}} \\
 &= 0,032 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

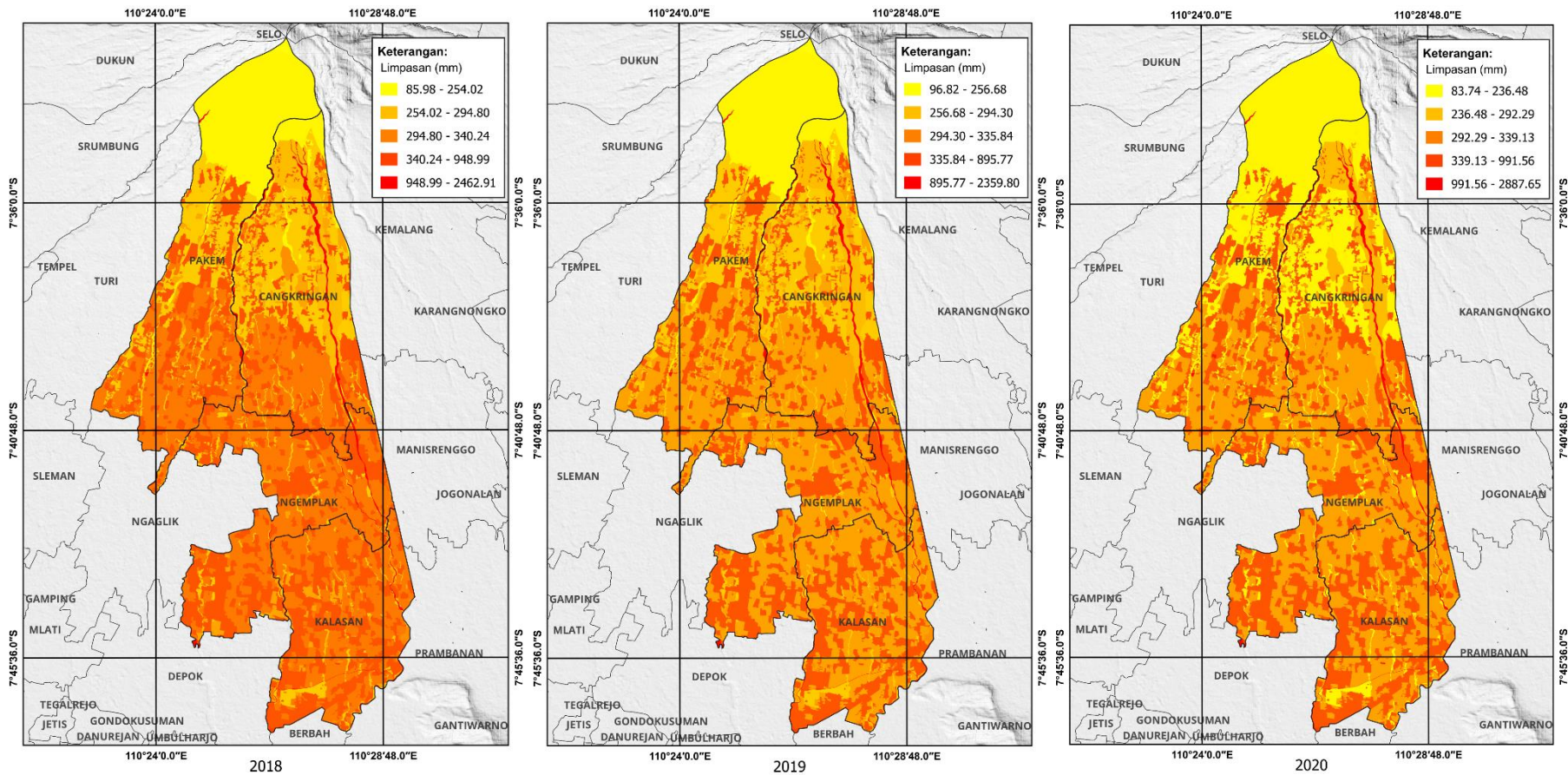
Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, diketahui bahwa pada tanggal 1 Februari 2018, lahan pertanian menyumbang limpasan sebesar 1,39 mm dengan kondisi kelembaban tanah normal dan volume curah hujan 5 sebelumnya > 35 mm. Begitu pula pada tanggal 17 Maret 2019, dengan kondisi kelembaban tanah yang lembap dan volume curah hujan 5 hari sebelumnya yang tinggi yaitu > 53 mm, lahan pertanian menyumbang limpasan sebesar 23,47 mm. Terakhir, pada tanggal

27 Oktober 2020, lahan pertanian menyumbang limpasan sebesar 0,032 mm dengan kondisi kelembaban tanah yang kering dan volume curah hujan 5 hari sebelumnya < 35 mm. Untuk volume limpasan lahan pertanian dan sawah untuk setiap bulannya, serta total per tahunnya untuk periode 2018 – 2020 disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Limpasan dari lahan pertanian dan sawah

Bulan	2018		2019		2020	
	Lahan Pertanian (mm)	Sawah (mm)	Lahan Pertanian (mm)	Sawah (mm)	Lahan Pertanian (mm)	Sawah (mm)
Januari	94,82	120,64	34,92	49,46	13,09	42,04
Februari	78,49	101,44	44,91	60,13	32,49	47,64
Maret	43,72	61,34	133,87	169,53	45,55	60,81
April	0,09	0,54	26,73	32,90	36,09	50,45
Mei	0	0	0	0	4,91	8,46
Juni	0	0	0	0	0	0
Juli	0	0	0	0	0	0
Agustus	0	0	0	0	0	0
September	0	0	0	0	0	0
Oktober	0	0	0	0	1,50	3,19
November	18,36	27,59	0	0,18	11,94	16,96
Desember	19,34	28,69	16,08	23,64	87,29	109,56
Total	254,82	340,24	256,52	335,84	232,85	339,13

Musim hujan di Yogyakarta berlangsung pada bulan November hingga April setiap tahunnya, dan ditunjukkan bahwa limpasan terus terjadi selama periode tersebut. Keberadaan hutan di DAS Opak Hulu memiliki kontribusi terhadap pengurangan limpasan permukaan meskipun terdapat banyak pemukiman di wilayah tersebut. Lahan bervegetasi di DAS Opak dapat membantu meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah sehingga dapat mencegah terjadinya limpasan yang berlebihan dan potensi terjadinya bencana alam seperti banjir dan erosi. Selain itu, kondisi kelembaban tanah di wilayah tersebut, didominasi oleh AMC I, juga secara signifikan mengurangi limpasan, karena AMC memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih besar dibandingkan AMC II dan III. Gambar 4.8 menyajikan pemetaan limpasan di DAS Opak Hulu pada tahun 2018-2020. Ketebalan limpasan yang tergambar pada peta tersebut menunjukkan adanya potensi bencana alam seperti banjir dan erosi. Wilayah yang berada pada zona merah merupakan wilayah dengan limpasan permukaan tinggi



Gambar 4.8 Peta limpasan permukaan DAS Opak Hulu tahun 2018-2020

4.3. Pengaplikasian Pestisida Organofosfat pada Lahan Pertanian dan Sawah di DAS Opak Hulu

4.3.1 Jenis dan Dosis Aplikasi Pestisida Organofosfat

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Prananda (2017) dan Kizly (2019), sebagian besar zat aktif pestisida organofosfat yang diaplikasikan di lahan pertanian Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan memiliki toksisitas beracun dengan bentuk fisik yang dapat larut dengan mudah di dalam air. Zat aktif pestisida organofosfat yang ditemukan pada lahan pertanian Kecamatan Pakem dan Kecamatan Cangkringan antara lain seperti Diazinon, Profenofos dan Klorpirifos. Pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 adalah dosis uraian pengaplikasian salah satu zat aktif pestisida organofosfat yang digunakan pada lahan pertanian di Kecamatan Cangkringan dan Pakem.

Tabel 4.6 Dosis aplikasi zat aktif Profenofos per tahun di Kecamatan Cangkringan

No.	Nama Desa	Luas Lahan (Ha)	Jumlah Tangki Terpakai	Frekuensi Semprot (x/minggu)	Dosis Semprot (l/Ha)	Dosis Total (g/Ha. tahun)	Dosis Total (µg/Ha. tahun)
1	Argomulyo	2	4	3	0,01	0,01	12.705,88
		0,4	2	3	0,05	0,35	352.941,18
		0,4	5	1	0,13	0,5	500.000
		0,25	4	3	0,16	1,37	1.371.428,57
		0,7	5	1	0,07	0,14	142.857,14
		0,4	3	1	0,23	1,93	1.928.571,43
		0,5	4	3	0,08	0,69	685.714,29
		0,2	4	3	0,2	2	2.000.000
		0,5	6	3	0,06	0,31	306.000
2	Wukirsari	0,1	4	3	0,09	0,44	444.444,44
		0,1	3	3	0,4	4	4.000.000
		0,04	4	4	0,3	2,57	2.571.428,57
		0,5	6	3	0,89	10,16	10.158.730,16
		0,2	2	1	0,12	1,03	1.028.571,43
		0,1	4	3	0,1	0,29	285.714,29
		0,1	4	3	0,6	7,34	7.344.000
		0,3	1	1	0,8	13,71	13.714.285,71
		0,1	3	3	0,07	0,38	380.952,38
		0,15	2	1	0,3	2,57	2.571.428,57
		0,15	4	3	0,13	0,38	380.952,38
		0,1	4	3	0,13	0,82	816.000
		0,1	3	3	0,4	3	3.000.000
		0,4	6	3	0,3	2,57	2.571.428,57
0,4	6	3	0,07	0,28	281.250		

Tabel 4.7 Dosis aplikasi zat aktif Profenofos per tahun di Kecamatan Pakem

No.	Nama Desa	Luas Lahan (Ha)	Jumlah Tangki Terpakai	Frek.Semprot (x/minggu)		Dosis Semprot (l/Ha)	Dosis Musim (g/Ha.tahun)		Dosis Total (µg/Ha.tahun)
				Hujan	Kemarau		Hujan	Kemarau	
1	Hargobinangun	0,07	2	2	0	0.29	0,82	0	816.326,53
		0,05	2	2		1.2	18,00		18.000.000
		0,3	3	3	0	0.3	3,38	0	3.375.000
		0,1	2	3	0	0.2	0,71	0	705.882,35
		0,1	2	1	1	0.2	0,25	0,25	500.000,00
2	Harjobinangun	0,07	2	1	1	0.43	2,14	2,14	4.285.714,29
		0,1	4	3	2	0.8	6	4	10.000.000
		0,1	3	1	3	0.9	3,60	10,8	14.400.000
		0,08	3	3	1	0.75	6,43	2,14	8.571.428,57
3	Candibinangun	0,3	5	2	1	0.33	1,67	0,83	2.500.000
		0,1	3	3	2	0.3	1,13	0,75	1.875.000
		0,1	2	1	1	0.5	1,56	1,56	3.125.000
		0,1	2	1	1	0.2	0,25	0,25	500.000

Zat aktif Profenofos merupakan zat aktif yang paling banyak terkandung dalam merek pestisida organofosfat yang digunakan. Pestisida berbahan aktif Profenofos mayoritas digunakan pada tanaman cabai dan mentimun di Kecamatan Cangkringan dan Pakem. Sedangkan, pestisida berbahan aktif Diazinon dan Klorpirifos digunakan oleh petani untuk tanaman padi. Berdasarkan Tabel 4.6 dan Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa frekuensi penyemprotan pestisida sangat bervariasi antar Kecamatan. Pada Kecamatan Pakem, petani menyesuaikan frekuensi penyemprotan berdasarkan musim hujan dan kemarau. Dibandingkan dengan musim kemarau, sebagian petani di Kecamatan Pakem lebih sering melakukan penyemprotan pestisida setiap minggunya pada musim hujan. Sebaliknya, petani di Kecamatan menyemprotkan pestisida dalam frekuensi yang sama setiap minggunya tanpa memperhitungkan musim hujan atau kemarau. Perbedaan frekuensi penyemprotan berdampak pada dosis pestisida yang digunakan pada lahan pertanian. Dosis keseluruhan pengaplikasian pestisida organofosfat pada Kecamatan Cangkringan dan Pakem tersaji pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Dosis aplikasi pestisida organofosfat per tahun

No.	Nama Kecamatan	Nama Desa	Luas Lahan (Ha)	Dosis per Ha ($\mu\text{g}/\text{Ha.tahun}$)	Dosis ($\mu\text{g}/\text{Ha.tahun}$)
1	Cangkringan	Argomulyo	49	1.319.966,39	64.678.352,97
		Wukirsari	24	4.690.550,83	229.836.990,81
2	Pakem	Pakembinangun	82	1.195.335,28	58.571.428,57
		Hargobinangun	87	11.315.811,23	1.954.733.209,07
		Harjobinangun	42	26.239.423,44	3.056.679.117,15
		Candibinangun	84	11.056.354,36	968.181.818,18
Total			368	55.817.441,53	6.332.680.916,76

Berdasarkan data Tabel 4.8 menunjukkan bahwa dosis aplikasi pestisida organofosfat di Kecamatan Cangkringan dan Pakem adalah 6.332.680.916,76 $\mu\text{g}/\text{Ha.tahun}$, meliputi lahan pertanian dan sawah seluas 368 Ha. Desa Harjobinangun menggunakan pestisida dalam jumlah berlebihan karena luas lahan pertanian dan sawah hanya 42 Ha, tetapi dosis aplikasinya per tahun adalah 26.239.423,44 $\mu\text{g}/\text{Ha.tahun}$. Sebagai perbandingan, Desa Pakembinangun memiliki luas lahan pertanian yang lebih luas dari Desa Harjobinangun yaitu 82 Ha dan menggunakan dosis yang lebih rendah yaitu 1.195.335,28 $\mu\text{g}/\text{Ha.tahun}$. Jumlah dosis aplikasi tersebut tidak mencapai setengah dari dosis aplikasi pestisida Desa Harjobinangun. Lahan pertanian dan sawah Desa Wukirsari di Kecamatan Cangkringan dengan luas 49 Ha juga menggunakan pestisida dalam jumlah berlebihan, jika dibandingkan dengan Desa Argomulyo. Lahan pertanian dan sawah Desa Argomulyo memiliki dosis aplikasi yang relatif rendah dengan dosis aplikasi per tahunnya sebesar 1.319.966,39 $\mu\text{g}/\text{Ha.tahun}$. Desa Argomulyo menerapkan dosis aplikasi terendah dibandingkan dengan seluruh lahan pertanian di Kecamatan Cangkringan dan Pakem.

Penggunaan pestisida yang berlebihan dapat meninggalkan residu pestisida pada tanaman seperti padi dan cabai. Residu ini menimbulkan risiko yang signifikan terhadap Kesehatan manusia, terutama jika memasuki perairan. Penelitian yang dilakukan Taufik pada tahun 2011 tentang pencemaran pestisida pada perairan perikanan di Sukabumi-Jawa Barat menemukan bahwa aktivitas pertanian seperti menanam padi pada sawah yang berada di sepanjang DAS berkontribusi atas masuknya pestisida ke dalam lingkungan budidaya perikanan. Lahan pertanian dan

sawah di Kecamatan Pakem dan Cangkringan juga berada di sepanjang DAS Opak Hulu, sehingga tidak bisa menutup kemungkinan adanya pestisida yang masuk ke dalam budidaya perikanan ataupun aliran Sungai Opak Hulu.

4.3.2 Persentase dosis aplikasi pestisida organofosfat pada limpasan di DAS Opak Hulu

Untuk mengestimasi konsentrasi pestisida organofosfat yang terkandung dalam limpasan DAS Opak Hulu, diperlukan perhitungan persentase dosis aplikasi pestisida organofosfat yang berkontribusi pada limpasan tersebut. Perhitungan ini bergantung pada beberapa parameter *input* yang tercantum pada Tabel 4.9, seperti waktu paruh zat aktif pestisida dalam tanah (DT_{50soil}), koefisien serapan pestisida terhadap karbon organik (K_{oc}) dan persentase kandungan karbon organik dalam tanah (%OC). Dengan mempertimbangkan parameter-parameter ini, persentase dosis aplikasi pestisida organofosfat pada limpasan di DAS Opak Hulu dapat di estimasi.

Tabel 4.9 Parameter *input*

Kecamatan	Zat Aktif	DT_{50soil}	K_{oc}	%OC
Pakem	Diazinon	74.4	609	42.3
	Profenofos	7.0	2016	
Cangkringan	Diazinon	74.4	609	35.7
	Profenofos	7.0	2016	
	Klorpirifos	160	5509	

Pestisida yang memiliki DT_{50soil} yang lama cenderung lebih persisten dan sulit terdegradasi di lingkungan. Pada Tabel di atas dapat dilihat bahwa zat aktif Klorpirifos dan Diazinon memiliki DT_{50soil} yang lama, sehingga terdapat kemungkinan bahwa sisa residu dari pestisida tersebut akan menumpuk di lingkungan. Selain itu, DT_{50soil} juga dapat mempengaruhi efektivitas pestisida dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Pestisida yang memiliki DT_{50soil} yang pendek seperti zat aktif Profenofos cenderung lebih efektif dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman karena pestisida tersebut cepat terdegradasi dan tidak menumpuk di lingkungan. Sebaliknya, pestisida yang memiliki DT_{50soil} yang lama seperti Klorpirifos cenderung kurang efektif dalam

mengendalikan hama dan penyakit tanaman karena pestisida tersebut sulit terdegradasi dan dapat menumpuk di lingkungan.

Persentase karbon organik di dalam tanah (%OC) Kecamatan Cangkringan dan Pakem bervariasi, seperti pada Tabel 4.9. Perbedaan nilai %OC ini disebabkan oleh pengaplikasian pestisida yang berbeda-beda di setiap wilayah. Penggunaan pestisida yang berlebihan berdampak negatif terhadap kandungan karbon organik di dalam tanah, yaitu zat aktif pestisida akan membunuh mikroorganisme yang berkontribusi dalam pembentukan karbon organik. Dengan menggunakan parameter *input*, persentase dosis aplikasi pestisida organofosfat pada limpasan di DAS Opak Hulu dapat diestimasi untuk setiap zat aktif di Kecamatan Cangkringan dan Pakem. Estimasi persentase dosis aplikasi pestisida organofosfat pada limpasan DAS Opak Hulu tersaji pada Tabel 4.10, 4.11 dan 4.12. Sedangkan, berikut adalah contoh dari perhitungan persentase dosis aplikasi pestisida organofosfat pada limpasan di DAS Opak Hulu yang dihasilkan oleh lahan pertanian Kecamatan Pakem pada tahun 2019.

Diketahui :

1. Curah Hujan (P) = 2359,805 mm
2. Limpasan (Q) = 256,52 mm
3. DT_{50soil}
 - a. Diazinon = 74,4
 - b. Profenofos = 7
4. K_{oc}
 - a. Diazinon = 609
 - b. Profenofos = 2016
5. %OC = 4,23
6. x = 0,5 hari
7. f_1 = 1 (*slope* \geq 20%)

Dihitung :

$$\begin{aligned}
 1. f_2 &= 1 - \left(\frac{PI}{100}\right) \\
 &= 1 - \left(\frac{70}{100}\right) \\
 &= 0,3 \\
 2. f_3 &= 0,83 \text{ WBZ (Weight Buffer Zone)} \\
 &= 0,83 \times 20 \\
 &= 16,60 \\
 3. f &= f_1 \times f_2 \times f_3 \\
 &= 1 \times 0,3 \times 16,60 \\
 &= 3,76 \\
 4. K_d &= K_{OC} \times \%OC \times \left(\frac{1}{100}\right) \\
 \text{a. Diazinon} \\
 K_d &= 609 \times 4,23 \times \left(\frac{1}{100}\right) \\
 &= 25,76 \\
 \text{b. Profenofoss} \\
 K_d &= 2016 \times 4,23 \times \left(\frac{1}{100}\right) \\
 &= 85,28 \\
 5. L\%_{runoff} &= \frac{Q}{P} \times f \cdot \exp\left(-x \cdot \frac{\ln 2}{DT_{soil}}\right) \times \frac{100}{1+K_d} \\
 \text{a. Diazinon} \\
 L\%_{runoff} &= \frac{256,52}{2359,805} \times 3,76 \times \exp\left(-0,5 \times \frac{\ln 2}{74,38}\right) \times \frac{100}{1+25,76} \\
 &= 0,11 \times 3,76 \times 0,99 \times 3,74 \\
 &= 1,52 \% \\
 \text{b. Profenofos} \\
 L\%_{runoff} &= \frac{256,52}{2359,805} \times 3,76 \times \exp\left(-0,5 \times \frac{\ln 2}{7}\right) \times \frac{100}{1+85,28} \\
 &= 0,11 \times 3,76 \times 0,95 \times 1,16 \\
 &= 0,45\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.10 $L\%_{runoff}$ dari lahan pertanian Kecamatan Pakem

No.	Zat aktif	Tahun	Q	P	f ₁	f ₂	f ₃	f	x	DT _{50soil}	Kd	Koc	%OC	L% _{runoff} (%)
			mm	mm						hari				
1	Diazinon	2018	254,82	2489,83	0,8	0,3	16,60	3,76	0,52	74,38	25,76	609	4,23	1,43
	Profenofos									7	85,28	2016		0,42
2	Diazinon	2019	256,52	2359,8					0,47	74,38	25,76	609		1,52
	Profenofos									7	85,28	2016		0,45
3	Diazinon	2020	232,85	2887,65					0,58	74,38	25,76	609		1,13
	Profenofos									7	85,28	2016		0,33

Tabel 4.11 $L\%_{runoff}$ dari sawah Kecamatan Pakem

No.	Zat aktif	Tahun	Q	P	f ₁	f ₂	f ₃	f	x	DT _{50soil}	Kd	Koc	%OC	L% _{runoff} (%)
			mm	Mm						hari				
1	Diazinon	2018	320,24	2489,83	0,8	0,3	16,60	3,76	0,52	74,38	25,76	609	4,23	1,91
	Profenofos									7	85,28	2016		0,56
2	Diazinon	2019	335,84	2359,8					0,47	74,38	25,76	609		1,99
	Profenofos									7	85,28	2016		0,59
3	Diazinon	2020	339,13	2887,65					0,58	74,38	25,76	609		1,64
	Profenofos									7	85,28	2016		0,48

Tabel 4.12 $L\%_{runoff}$ dari lahan pertanian Kecamatan Cangkringan

No.	Zat aktif	Tahun	Q	P	f_1	f_2	f_3	f	x	DT_{50soil}	Kd	Koc	%OC	$L\%_{runoff}$										
			mm	mm						hari				(%)										
1	Diazinon	2018	254,82	2489,83	0,8	0,3	16,60	3,76	0,17	74,38	21,74	609	3,57	1,69										
	Profenofos									7	71,97	2016		0,52										
	Klorpirifos									160	196,67	5509		0,19										
2	Diazinon	2019	256,52	2359,8					0,8	0,3	16,60	3,76		0,47	74,38	21,74	609	3,57	1,79					
	Profenofos														7	71,97	2016		0,53					
	Klorpirifos														160	196,67	5509		0,21					
3	Diazinon	2020	232,85	2887,65										0,8	0,3	16,60	3,76		0,19	74,38	21,74	609	3,57	1,33
	Profenofos																			7	71,97	2016		0,41
	Klorpirifos																			160	196,67	5509		0,15

4.4. Estimasi Konsentrasi Pestisida Organofosfat pada Limpasan di DAS Opak Hulu

Penentuan konsentrasi pestisida pada limpasan memperhitungkan berbagai parameter seperti hasil persentase dosis aplikasi pestisida organofosfat yang terkandung dalam limpasan DAS Opak Hulu, konsentrasi estimasi zat bahan aktif pestisida dari lahan pertanian dan sawah di Kecamatan Cangkringan dan Pakem, dan debit limpasan DAS Opak Hulu. Estimasi konsentrasi pestisida organofosfat pada limpasan DAS Opak Hulu per tahunnya dapat dilihat pada Tabel 4.13, 4.14, dan 4.15. Berikut adalah contoh perhitungan estimasi konsentrasi bahan aktif pestisida yang dihasilkan oleh lahan pertanian di Kecamatan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu pada tahun 2018-2020. Sedangkan, pada Gambar 4.9, 4.10, dan 4.11 merupakan peta persebaran dari zat aktif organofosfat pada limpasan di DAS Opak Hulu per tahunnya.

Diketahui :

P_{UCRB}

- a. Diazinon = 17.280.000 $\mu\text{g}/\text{tahun}$
- b. Profenofos = 68.654.351,74 $\mu\text{g}/\text{tahun}$

ΔT = 31.540.000 detik

1. Tahun 2018

- a. $L\%_{runoff}$
 - Diazinon = 1,43%
 - Profenofos = 0,42 %
- b. Q_{runoff} = 254,82 L/detik

2. Tahun 2019

- a. $L\%_{runoff}$
 - Diazinon = 1,52 %
 - Profenofos = 0,45 %
- b. Q_{runoff} = 335,84 L/detik

3. Tahun 2020

a. $L\%_{runoff}$

- Diazinon = 1,13 %
- Profenofos = 0,33 %

b. Q_{runoff} = 339,13 L/detik

Dihitung :

$$PEC = 1 - L\%_{runoff} \times P_{UCRB} \times \frac{1}{Q_{runoff} \times \Delta T}$$

1. Tahun 2018

a. Diazinon

$$PEC = 1 - 1,43\% \times 17.280.000 \mu\text{g}/\text{tahun} \times \frac{1}{254,82 \text{ L}/\text{detik} \times 31.540.000}$$
$$= 0,0031 \mu\text{g}/\text{L}$$

b. Profenofos

$$PEC = 1 - 0,42 \% \times 68.654.351,74 \mu\text{g}/\text{tahun} \times \frac{1}{254,82 \text{ L}/\text{detik} \times 31.540.000}$$
$$= 0,0036 \mu\text{g}/\text{L}$$

2. Tahun 2019

a. Diazinon

$$PEC = 1 - 1,52\% \times 17.280.000 \mu\text{g}/\text{tahun} \times \frac{1}{335,84 \text{ L}/\text{detik} \times 31.540.000}$$
$$= 0,0025 \mu\text{g}/\text{L}$$

b. Profenofos

$$PEC = 1 - 0,45\% \times 68.654.351,74 \mu\text{g}/\text{tahun} \times \frac{1}{335,84 \text{ L}/\text{detik} \times 31.540.000}$$
$$= 0,0029 \mu\text{g}/\text{L}$$

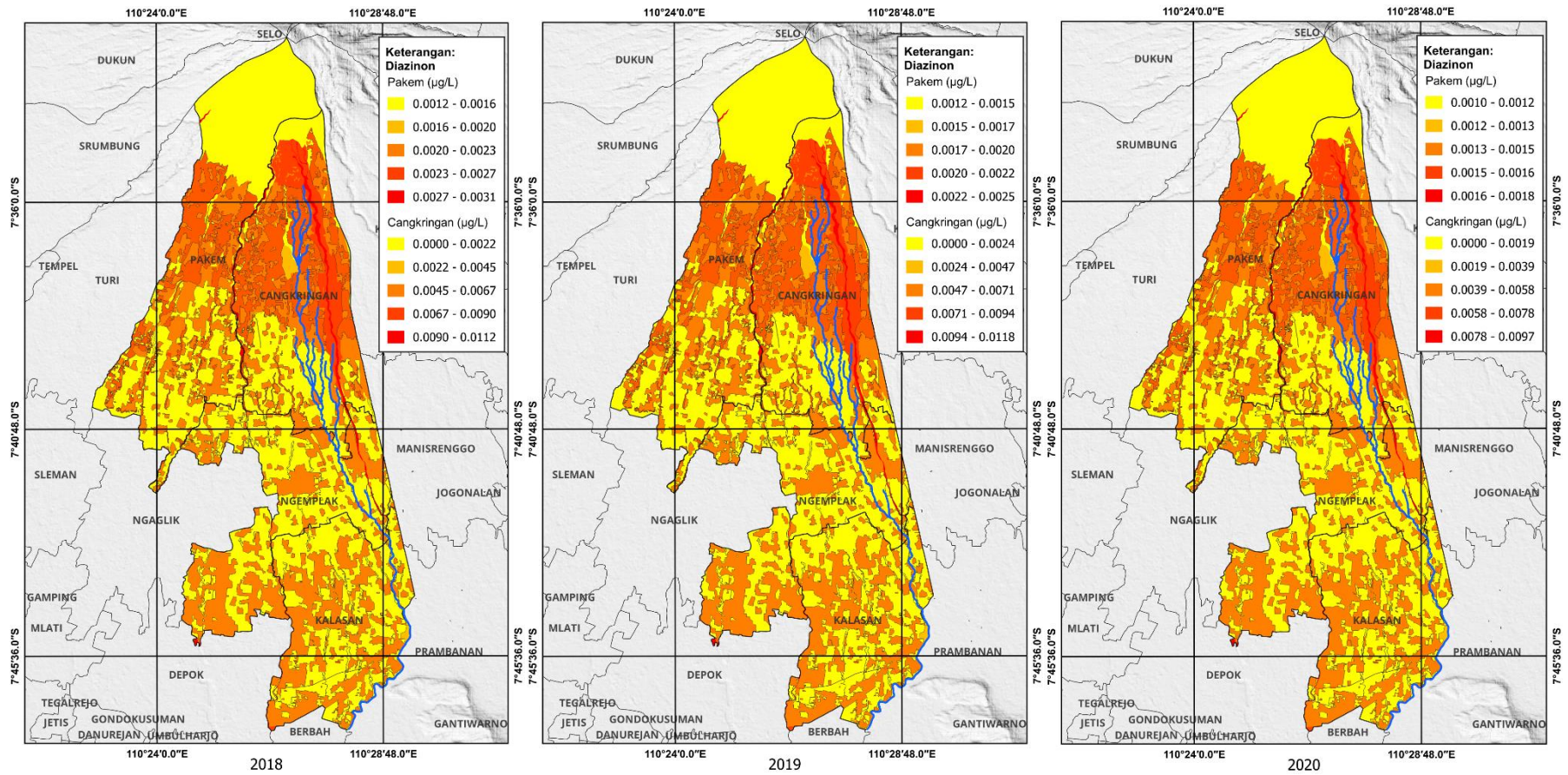
3. Tahun 2020

a. Diazinon

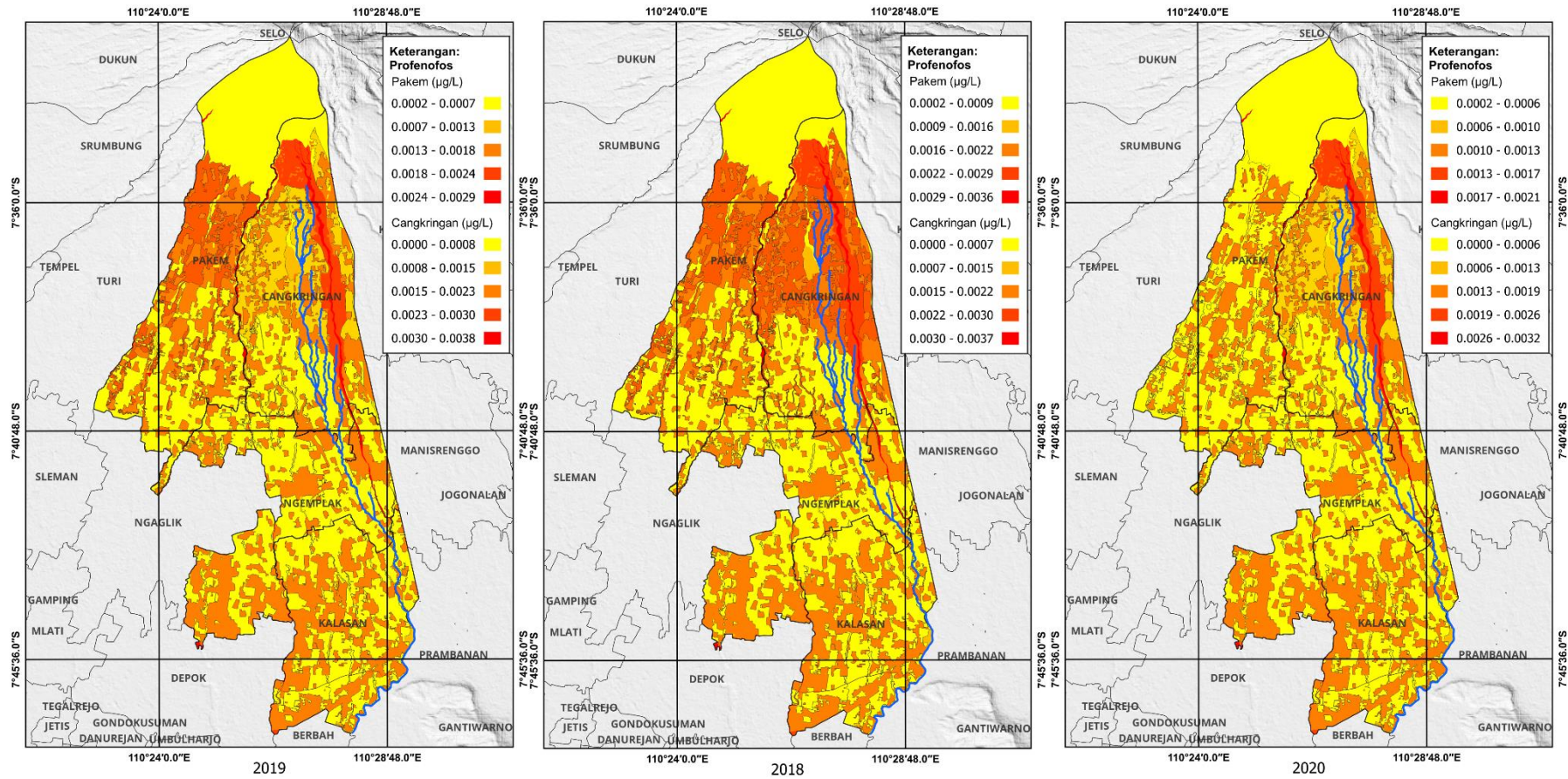
$$PEC = 1 - 1,13\% \times 17.280.000 \mu\text{g}/\text{tahun} \times \frac{1}{339,13 \text{ L}/\text{detik} \times 31.540.000}$$
$$= 0,0018 \mu\text{g}/\text{L}$$

b. Profenofos

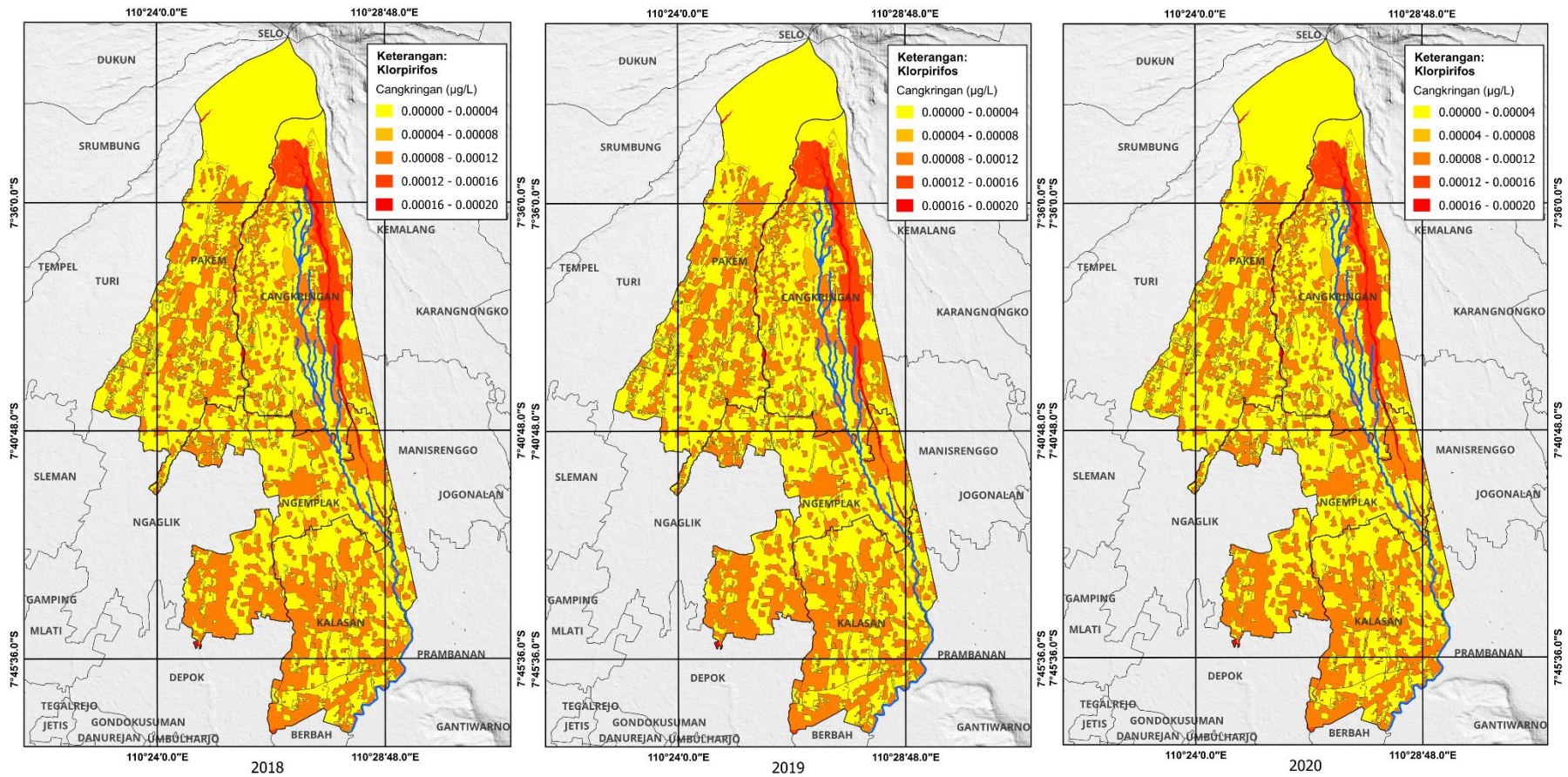
$$PEC = 1 - 0,33 \% \times 68.654.351,74 \mu\text{g}/\text{tahun} \times \frac{1}{339,13 \text{ L}/\text{detik} \times 31.540.000}$$
$$= 0,0021 \mu\text{g}$$



Gambar 4.9 Peta persebaran zat aktif Diazinon pada limpasan di DAS Opak Hulu tahun 2018 - 2020



Gambar 4.10 Peta persebaran zat aktif Profenofos pada limpasan di DAS Opak Hulu tahun 2018 - 2020



Gambar 4.11 Peta persebaran zat aktif Klorpirifos pada limpasan di DAS Opak Hulu tahun 2018 - 2023

Tabel 4.13 Konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian Kecamatan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu

Zat aktif	Tahun	L% _{runoff} (%)	PUCRB (µg/tahun)	Q _{runoff} (L/detik)	ΔT (detik)	PEC (µg/L)
Diazinon	2018	2,272	17.280.000,00	405,00	31.540.000	0,0031
Profenofos		0,673	68.654.351,74			0,0036
Diazinon	2019	2,370	17.280.000,00	400,30		0,0032
Profenofos		0,705	68.654.351,74			0,0038
Diazinon	2020	1,802	17.280.000,00	372,75		0,0026
Profenofos		0,531	68.654.351,74			0,0031

Tabel 4.14 Konsentrasi pestisida organofosfat dari sawah Kecamatan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu

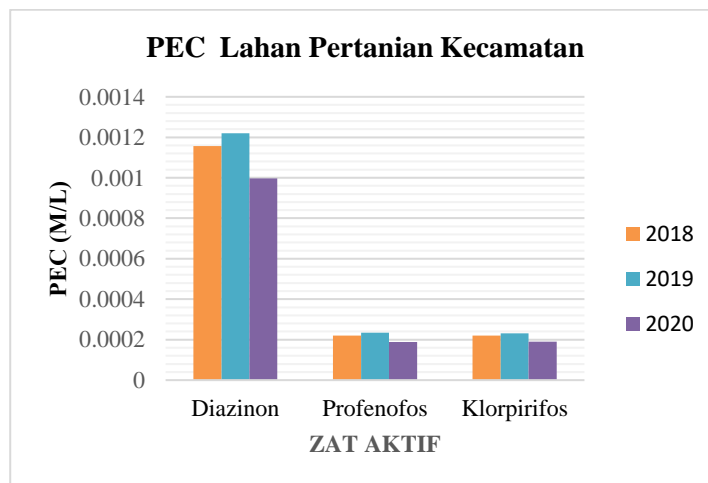
Zat aktif	Tahun	L% _{runoff} (%)	PUCRB (µg/tahun)	Q _{runoff} (L/detik)	ΔT (detik)	PEC (µg/L)
Diazinon	2018	1,818	6.500.000,000	324,10	31.540.000	0,0012
Profenofos		0,538	4.184.907,834			0,0002
Diazinon	2019	1,890	6.500.000,000	319,21		0,0012
Profenofos		0,562	4.184.907,834			0,0002
Diazinon	2020	1,586	6.500.000,000	328,20		0,0010
Profenofos		0,467	4.184.907,834			0,0002

Tabel 4.15 Konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian Kecamatan Cangkringan pada limpasan di DAS Opak Hulu

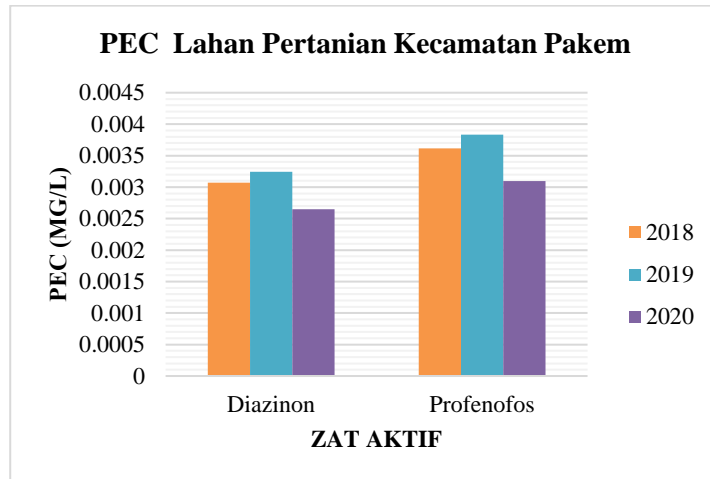
Zat aktif	Tahun	L% _{runoff} (%)	PUCRB (µg/tahun)	Q _{runoff} (L/detik)	ΔT (detik)	PEC (µg/L)
Diazinon	2018	2,682	53.448.163,265	405,00	31.540.000	0,0112
Profenofos		0,823	56.849.404,995			0,0037
Klorpirifos		0,309	9.102.386,709			0,0002
Diazinon	2019	2,789	53.448.163,265	400,30		0,0118
Profenofos		0,834	56.849.404,995			0,0038
Klorpirifos		0,322	9.102.386,709			0,0002
Diazinon	2020	2,128	53.448.163,265	372,75		0,0097
Profenofos		0,652	56.849.404,995			0,0032
Klorpirifos		0,245	9.102.386,709			0,0002

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa konsentrasi pestisida organofosfat dari sawah di Kecamatan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu relatif rendah dibandingkan dengan lahan pertanian. Konsentrasi pestisida tertinggi yang terkandung pada limpasan di DAS Opak Hulu dihasilkan oleh lahan pertanian di Kecamatan Pakem dan Cangkringan.

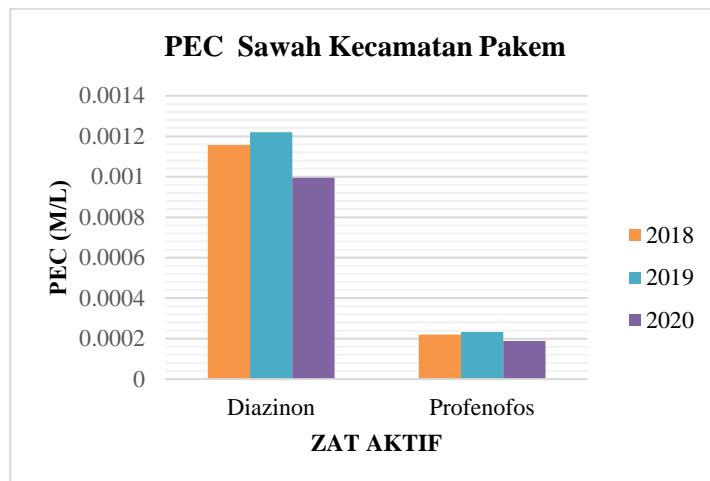
Estimasi konsentrasi pestisida organofosfat tertinggi dihasilkan oleh zat aktif Diazinon dan konsentrasi organofosfat terendah dihasilkan oleh zat aktif Klorpirifos. Pada tahun 2018 lahan Kecamatan Cangkringan menyumbang konsentrasi zat aktif Diazinon pada limpasan di DAS Opak Hulu sebesar 0.0112 µg/L. Tetapi, pada tahun 2020 konsentrasi zat aktif Diazinon pada limpasan di DAS Opak Hulu yang dihasilkan oleh lahan pertanian Kecamatan Cangkringan menurun sebesar 0.0097 µg/L. Begitu pun dengan konsentrasi pestisida organofosfat yang dihasilkan oleh lahan pertanian Kecamatan Pakem. Konsentrasi zat aktif Diazinon dari lahan pertanian di Kecamatan Pakem tergolong tinggi, tetapi konsentrasi zat aktif mengalami penurunan pada tahun 2020. Penurunan konsentrasi pestisida organofosfat yang dihasilkan oleh lahan pertanian dan sawah di Kecamatan Cangkringan dan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu disajikan pada Gambar 4.12, 4.13, dan 4.14.



Gambar 4.12 Estimasi konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian Kecamatan Cangkringan pada limpasan di DAS Opak Hulu



Gambar 4.13 Estimasi konsentrasi pestisida organofosfat dari lahan pertanian Kecamatan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu



Gambar 4.14 Estimasi konsentrasi pestisida organofosfat dari sawah Kecamatan Pakem pada limpasan di DAS Opak Hulu

Peristiwa penurunan konsentrasi pestisida dalam limpasan permukaan tidak selalu terjadi secara signifikan karena dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti metode aplikasi dan penggunaan lahan. Pada penelitian mengenai kualitas air dan beban pencemaran pestisida di Sungai Babon Kota Semarang (Prabowo dan Subantoro, 2012), diketahui bahwa luasnya suatu penggunaan lahan juga berkontribusi terhadap tingginya cemaran pestisida melalui air limpasan permukaan. Penggunaan lahan di DAS Opak Hulu bisa menjadi salah satu alasan adanya penurunan konsentrasi organofosfat pada limpasan di DAS Opak Hulu. Selain itu,

air hujan yang jatuh di DAS Opak Hulu dapat mengencerkan konsentrasi pestisida sehingga menjadi terlarut dan limpasan permukaan yang mengalir melalui tanah, sebagian dari zat aktif pestisida dapat terikat pada partikel tanah dan tidak ikut terbawa dalam limpasan permukaan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa Kecamatan Cangkringan merupakan penyumbang konsentrasi pestisida organofosfat terbesar pada limpasan DAS Opak Hulu. Limpasan mengandung tiga jenis zat aktif pestisida yang digunakan, dengan konsentrasi tertinggi pada kedua Kecamatan adalah zat aktif Diazinon. Pada tahun 2019, limpasan permukaan DAS Opak Hulu di estimasi mengandung 0,0118 $\mu\text{g/L}$ zat aktif Diazinon, 0,0038 $\mu\text{g/L}$ zat aktif Profenofos, dan 0,0002 $\mu\text{g/L}$ zat aktif Klorpirifos dari lahan pertanian di Kecamatan Cangkringan, serta 0,0031 $\mu\text{g/L}$ zat aktif Diazinon dan 0,0036 $\mu\text{g/L}$ zat aktif Profenofos dari lahan pertanian di Kecamatan Pakem. Kandungan zat aktif Klorpirifos dalam limpasan DAS Opak hulu hanya dalam jumlah kecil selama tiga tahun berturut-turut sebesar 0,0002 $\mu\text{g/L}$. Zat aktif pestisida dari sawah di Kabupaten Pakem tidak terlalu banyak mengambil andil dalam kontribusi pencemaran pestisida pada limpasan DAS Opak Hulu. Sebagian besar konsentrasi pestisida yang terkandung dalam limpasan DAS Opak Hulu berasal dari lahan pertanian.

5.2 Saran

Hasil penelitian dari penelitian masih memerlukan validasi hasil akhir untuk mengetahui keakuratan model estimasi konsentrasi pestisida pada limpasan di DAS Opak Hulu. Selain itu, hasil estimasi konsentrasi pestisida ataupun limpasan masih dapat dikembangkan menjadi model berbasis fisik sehingga dapat divisualisasikan lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar JAP, Andreu V, Campo J, Pico Y, Masia A. 2017. *Pesticide Occurrence in The Waters of Júcar River, Spain from Different Farming Landscapes*. Science of the Total Environment 607-608.
- Amirul, C. & Rahman, A (2021). *Analisis Limpasan Permukaan (runoff) pada Daerah Aliran Sungai Jenelata Kabupaten Gowa*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Ardiwinata, A. N. (2008). *Arang Aktif Sebagai Pengendali Residu Pestisida*. Dinas Pertanian Provinsi Jawa Barat.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah Dan Air*. PT. Penerbit IPB Press.
- Aryani D, Sunardi, Melanie. 2013. *Uji Toksisitas Sedimen Sungai Citarum terhadap Mortalitas Larva Hydropsyche Sp. (Trichoptera : Hydropsychidae)*. Jurnal Biotika 11(2):140-146.
- Asdak, Chay. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Asdak, Chay (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai: Edisi Revisi Kelima*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Asdak, Chay. 2014. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Bambang Triatmodjo, 2008. "*Hidrologi Terapan*". Yogyakarta : Beta Offset.
- Budiyono. (2012). Kajian sistematis dampak Pestisida Diazinon terhadap manusia, mamalia lainnya dan lingkungan. Skripsi. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Estiningtyas, W. (2018). *Iklm Pertanian Indonesia*. IAARD PRESS.
- Ferijal, T. (2012). *Prediksi Hasil Limpasan Permukaan dan Laju Erosi Dari Sub DAS Krueng Jreu Menggunakan Model SWAT*. Jurnal Agrivita, 16(1), 29-38.
- Harahap, W. N., Yuniasih, B., & Gunawan, S. (2023). *Dampak La Nina 2021-2022 terhadap Peningkatan Curah Hujan*. AGROISTA : Jurnal Agroteknologi, 7(1), 26 – 32.
- Harto, S. (1993). *Analisis Hidrologi*, Jakarta: PT Gramedia Utama.

- Hellar, Kihampa H. 2011. *Pesticide residues in four rivers running through an intensive agricultural area, Kilimanjaro, Tanzania*. J. Appl. Sci. Environ. Manage. 15 (2) : 307- 316.
- Hidayati, Diah Balqis Ikfi (2019). *Intoksikasi Organofosfat dengan Krisis Kolinergik Akut, Gejala Peralihan dan Polineuropati Tertunda*. Jurnal Agromedicine.
- Indriyani, I., Rahmayani, I., & Wulansari, D. (2019). *Upaya Pengendalian Hama Gudang Sitophilus Oryzael dengan Penggunaan Pestisida Nabati*. Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan .
- Jia, Y.T., Chen, Y.F., 2013. *Ecological Indicators River health assessment in a large river: bioindicators of fish population*. Ecol. Indicat. 26, 24–32.
- Kadim, M. K., Sudaryanti, S., & Yuli, E. H. (2013). *Pencemaran residu pestisida di Sungai Umbulrejo Kecamatan Dampit Kabupaten Malang (Pollution of Pesticide Residues in The Umbulrejo River District Dampit, Malang)*. Jurnal Manusia dan Lingkungan, 20(3), 262-268.
- Kaushal, J., Khatri, M., & Arya, S. K. (2021). *A treatise on Organophosphate pesticide pollution: Current strategies and advancements in their environmental degradation and elimination*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 207, 111483.
- Kaushik CP, Sharma HR, Jain S, Dawra J, Kaushik A. 2008. *Pesticide Residues in River Yamuna and Its Canals in Haryana and Delhi, India*. Environmental Monitoring and Assessment 144:329–340.
- Kizlyara, N.S. (2017). *Estimasi Tingkat Risiko Penggunaan Pestisida Pada Area Pertanian Di Kec. Pakem, D.I Yogyakarta Dengan Metode Icp phyto*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- Kusuma, C. E., & Lestari, F. (2021). *Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Proyek Penambahan Line Conveyor Batubara Unit Pelaksanaan Pembangunan Sebalang*. Jurnal Teknik Sipil, 2(01), 44–50.
- Laoh, O.E.H, 2002, *Keterkaitan Faktor Fisik, Faktor Sosial, Ekonomi, dan Tata Guna Lahan di Daerah Tangkapan Air dengan Erosi dan Sedimentasi (Studi Kasus Tondano, Sulawesi Utara)*, IPB, Bogor.

- Munarso, S. J. (2009). *Kontaminasi residu pestisida pada cabai merah, selada, dan bawang merah (Studi kasus di Bandungan dan Brebes Jawa Tengah serta Cianjur Jawa Barat)*.
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Srinivasan R, Williams JR, Haney EB. 2011. *Soil and Water Assessment Tool: Input/Output File Documentation Version 2009*. Temple, Texas (US): Texas Water Resources Institute Texas A&M University.
- Nining, E., Nazli, R. S. S., Mas'ud, Z. A., Machfud, M., & Sobir, S. (2019). *Profil residu insektisida organofosfat di kawasan produksi bawang merah (allium ascalonicum L.) Kabupaten Brebes Jawa Tengah*. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 9(4), 999-1009.
- Nurqalbi, A.U. (2017). *Analisis Aliran Permukaan (surface runoff) di DAS Citarum*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Notodarmojo, S. (2005). *Pencemaran Tanah dan Air*. Bandung (ID): ITB.
- Pemerintah Kabupaten Sleman. 2007. *Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Sleman Tahun 2007*. Yogyakarta.
- Prabowo, R., & Subantoro, R. (2012). *Kualitas Air dan Beban Pencemaran Pestisida di Sungai Babon Kota Semarang*. *Mediagro*, 8(1), 9–17.
- Prananda, D. (2017). *Pemetaan Tingkat Risiko Penggunaan Pestisida Pada Area Pertanian Di Kecamatan Cangkringan, dengan Metode Icp phyto*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- Rahmawati, I., Suwarja, S., & Putri, M. T. (2018). *Tingkat Keracunan Pestisida Organofosfat pada Petani Penyemprot Sayur di Desa Liberia Timur Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Tahun 2013*. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*.
- Rather HS and Nollet LML. 2012. *Pesticides Evaluation of Environmental Pollution*. New York: CRC Press.
- Ryberg KR, Gilliom RJ. 2015. *Trends in Pesticide Concentrations and Use for Major Rivers of The United States*. *Science of The Total Environment*. 538:431-444.

- Universitas Sumatera Utara. Sembel, D.T., 2015, *Toksikologi Lingkungan*, Yogyakarta: Cv. Andi Offset.
- Utami, R.R., Geerling, G.W., Salami, I.R.S., Notodarmojo, S., & Ragas, A.M.J. (2020). *Environmental prioritization of pesticide in the Upper Citarum River Basin, Indonesia, using predicted and measured concentrations*. ResearchGate.
- Schwab, G.O., R.K. Frevert, T.W. Edmister and K.K. Barnes. 1981. *Soil and Water Conservation Engineering. Thrid Edition. The Ferguson Foundation Agricultral Engineering Series*. United States of America.
- Seyhan, E. 1990. *Dasar-dasar hidrologi*. Gadjahmada University Press. Yogyakarta.
- Smadi, M. (1998). *Incorporating Spatial and Temporal Variation of Watershed Response in a GisBased Hydrologic Model*. Tesis. Master of Science in Biological Systems Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA
- Soewarno. 1991. *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Yogyakarta: Nova.
- Suprayogi, Slamet & Cahyadi, Ahmad & Tivianton, Tommy & Riyadi, Sugeng & Fajri, Ahdi & Sasongko, Tika & Arida, Vera. (2015). *Estimasi dampak perubahan iklim terhadap hujan wilayah di DAS Progo Hulu menggunakan skenario iklim HADCM3 dengan skenario emisi A2 dan B2*.
- Suripin, 2004, *Drainase Perkotaan Berkelanjutan*. ANDI, Yogyakarta.
- Székács A, Mörtl M, Darvas B. 2015. *Monitoring Pesticide Residues in Surface and Ground Water in Hungary: Surveys in 1990–2015*. Journal of Chemistry 1:1-15.
- Widaryanto, L. H., Bardan, D. M., & Dwisari, R. (2021). *Pemodelan Pola Aliran Sungai Opak dan Pengaruh Inline Structure terhadap Banjir Menggunakan Sistem Aplikasi Hec-Ras 4.1.0*. Jurnal UST.
- Zulkarnain, I. 2010. *Aplikasi Pestisida dan Analisa Residu Pestisida*. Universitas Sumatera Utara. Medan.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh Tabel perhitungan SCS-CN lahan pertanian

Tanggal	CH	Jumlah CH 5 hari sebelum	AMC	CN	S	(P - 0.2S)	R/TR	(P - 0.2S) ²	(P - 0.2S) ² <i>runoff</i>	P + 0.8S	Q (mm)
27-Des-18	0		1								
28-Des-18	0		1								
29-Des-18	0		1								
30-Des-18	0		1								
31-Des-18	4		1								
1-Jan-19	3	4	1	48	278	-52,86	0	2794.63	0	225.40	0
2-Jan-19	26	7	1	48	278	-29,22	0	853.67	0	249.05	0
3-Jan-19	12	33	1	48	278	-43,17	0	1863.39	0	235.1	0
4-Jan-19	7	46	2	67	125	-17,93	0	321.68	0	107.17	0
5-Jan-19	10	53	2	67	125	-15,39	0	236.60	0	109.72	0
6-Jan-19	9	58	3	84	50	-0,43	0	0.19	0	49.17	0
7-Jan-19	20	65	3	84	50	10,01	R	100.11	100.11	59.61	1.68
8-Jan-19	12	59	3	84	50	2,26	R	5,09	5,09	51,86	0,1
9-Jan-19	7	58	3	84	50	-2,77	0	7,66	0	46,84	0
10-Jan-19	2	58	3	84	50	-7,99	0	63,77	0	41,62	0
11-Jan-19	22	51	2	67	125	-2,89	0	8,36	0	122,21	0
12-Jan-19	6	63	3	84	50	-4,031	0	16,25	0	45,57	0
13-Jan-19	15	49	2	67	125	-9,75	0	95,10	0	115,35	0
14-Jan-19	13	52	2	67	125	-11,97	0	143,22	0	113,13	0
15-Jan-19	13	58	3	84	50	3,27	R	10,71	10,71	52,88	0,2

16-Jan-19	10	70	3	84	50	0,14	R	0,02	0,02	49,75	0
17-Jan-19	15	57	3	84	50	4,92	R	24,21	24,21	54,52	0,44
18-Jan-19	34	66	3	84	50	24,33	R	592,17	592,17	73,94	8,01
19-Jan-19	10	85	3	84	50	0,39	R	0,15	0,15	50	0,003
20-Jan-19	4	83	3	84	50	-6,12	0	37,43	0	43,48	0
21-Jan-19	9	73	3	84	50	-1,37	0	1,89	0	48,23	0
22-Jan-19	16	72	3	84	50	5,79	R	33,58	33,58	55,4	0,61
23-Jan-19	30	73	3	84	50	19,79	R	391,78	391,78	69,4	5,64
24-Jan-19	33	68	3	84	50	22,69	R	515	515	72,3	7,12
25-Jan-19	18	90	3	84	50	8,21	R	67,41	67,41	57,81	1,17
26-Jan-19	11	105	3	84	50	1,32	R	1,74	1,74	50,92	0,03
27-Jan-19	11	107	3	84	50	1,45	R	2,10	2,10	51,05	0,04
28-Jan-19	7	103	3	84	50	-2,61	0	6,81	0	46,99	0
29-Jan-19	2	81	3	84	50	-7,75	0	60,06	0	41,85	0
30-Jan-19	41	50	2	67	125	15,51	R	240,54	240,54	140,61	1,71
31-Jan-19	35	73	3	84	50	24,61	R	605,66	605,66	74,21	8,16
Total Limpasan di Bulan Januari											34,92

Lampiran 2 Contoh Tabel perhitungan dosis pestisida lahan pertanian Kecamatan Pakem

No.	Nama Desa	Zat Aktif	Konsentrasi Bahan aktif (g/l)	Luas Lahan (Ha)	Volume Takaran (l)	Volume Tangki (l)	Jumlah Tangki Terpakai	Frek.Semprot (x/minggu)		Konsentrasi Semprot (g/l)	Dosis Semprot (l/Ha)	Dosis Musim (g/Ha.tahun)			Dosis Total (µg/Ha.tahun)	
								Hujan	Kemarau			Hujan	Kemarau	Total		
1	Pakembinangun	Diazinon 600 g/L	600	0,2	0,02	14	3	1 kali/tahun		0,86	0,30	0,26		0,26	257.142,86	
		Diazinon 600 g/L	600	0,4	0,02	14	4	1 kali/tahun		0,86	0,20	0,17		0,17	171.428,57	
Total												0,43	0,43	428.571,43		
Luas Lahan Pertanian Total = 82 Ha (g/tahun)												58,57	58,57	58.571.428,57		
2	Hargobinangun	Profenofos 500 g/L	500	0,07	0,01	14	2	2	0	0,36	0,29	0,82	0	0,82	816.326,53	
		Profenofos 500 g/L	500	0,05	0,03	16	2	2		0,94	1,20	18,00		18,00	18.000.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,3	0,03	16	3	3	0	0,94	0,30	3,38	0	3,38	3.375.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,1	0,01	17	2	3	0	0,29	0,20	0,71	0	0,71	705.882,35	
		Profenofos 500 g/L	500	0,1	0,01	16	2	1	1	0,31	0,20	0,25	0,25	0,50	500.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,3	0,02	16	3	1 kali/tahun		0,63	0,20	0,13		0,13	125.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,2	0,02	14	2	1	1	0,71	0,20	0,57	0,57	1,14	1.142.857,14	
		Diazinon 600 g/L	600	0,12	0,02	16	2	3	2	0,75	0,33	3,00	2,00	5,00	5.000.000,00	
Diazinon 600 g/L	600	0,128	0,02	14	2	0	1	0,86	0,31	0	1,07	1,07	1.071.428,57			
Total												8,72	3,89	30,74	30.736.494,60	
Luas Lahan Pertanian Total = 87 Ha (g/tahun)												554,47	247,57	1.954,73	1.954.733.209,07	
3	Harjobinangun	Diazinon 600 g/L	600	0,1	0,03	15	3	1	3	1,20	0,90	4,32	12,96	17,28	17.280.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,07	0,015	6	2	1	1	1,25	0,43	2,14	2,14	4,29	4.285.714,29	
		Profenofos 500 g/L	500	0,1	0,02	16	4	3	2	0,63	0,80	6,00	4,00	10,00	10.000.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,1	0,03	15	3	1	3	1,00	0,90	3,60	10,80	14,40	14.400.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,08	0,02	14	3	3	1	0,71	0,75	6,43	2,14	8,57	8.571.428,57	
		Profenofos 500 g/L	500	0,31	0,02	10	3	1	0	1,00	0,19	0,77	0,00	0,77	774.193,55	
Total												23,27	32,05	55,31	55.311.336,41	
Luas Lahan Pertanian Total = 42 Ha (g/tahun)												1.285,73	1.770,95	3.056,68	3.056.679.117,15	
4	Candibinangun	Profenofos 500 g/L	500	0,3	0,02	16	5	2	1	0,63	0,33	1,67	0,83	2,50	2.500.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,1	0,01	16	3	3	2	0,31	0,30	1,13	0,75	1,88	1.875.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,1	0,025	16	2	1	1	0,78	0,50	1,56	1,56	3,13	3.125.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,1	0,01	16	2	1	1	0,31	0,20	0,25	0,25	0,50	500.000,00	
		Profenofos 500 g/L	500	0,28	0,02	8	3	1	1	1,25	0,21	1,07	1,07	2,14	2.142.857,14	
Total												5,68	4,47	10,14	10.142.857,14	
Luas Lahan Pertanian Total = 84 Ha (g/tahun)												541,76	426,42	968,18	968.181.818,18	

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Kota Sungai Penuh, Provinsi Jambi pada tanggal 24 Oktober 2001. Penulis merupakan anak ke-dua dari Bapak Yandrianto dan Ibu Yulianna br Tarigan. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Binjai, Provinsi Sumatera Utara pada tahun 2019 dan melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,

Selama perkuliahan penulis mengikuti kegiatan Studi Independen Kampus Merdeka pada Tahun 2022. Penulis juga aktif dalam kegiatan non-akademik yakni sebagai Sekretaris Departemen Informasi dan Komunikasi Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia Regional III, Koordinator Media Gelorasema 2021, dan *Steering Committee* PDD PEKTA 2022. Di akhir masa perkuliahan, penulis mengikuti *Summer Internship Program* di Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia sebagai *Student Assistant*. Sebagai syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia penulis menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Estimasi Konsentrasi Pestisida dari Lahan Pertanian Kecamatan Cangkringan dan Pakem pada Limpasan di Das Opak Hulu” di bawah bimbingan Ibu Dr, Suphia Rahmawati, S.T, M,T dan Bapak Adam Rus Nugroho, S,T,, M,T,, Ph,D.