



UNIVERSITAS INDONESIA

**DAMPAK PEMUPUKAN NITROGEN PADA BUDIDAYA
TANAMAN SEMUSIM DI DAERAH PERTANIAN DATARAN TINGGI
(Studi pada Sub DAS Klakah DAS Serayu Kabupaten Wonosobo)**

**Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar**

MAGISTER DALAM ILMU LINGKUNGAN

Mas Teddy Sutriadi

NPM: 0706308780

**JENJANG MAGISTER
PROGRAM STUDI ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCA SARJANA
JAKARTA, 2009**

Judul Tesis: DAMPAK PEMUPUKAN NITROGEN PADA BUDIDAYA
TANAMAN SEMUSIM DI DAERAH PERTANIAN DATARAN
TINGGI
(Studi pada Sub DAS Klakah DAS Serayu Kabupaten Wonosobo)

Tesis ini telah disetujui dan disahkan oleh Komisi Penguji Program Studi Ilmu
Lingkungan, Program Pasca Sarjana Universitas Indonesia pada 29 Mei 2009
dan telah dinyatakan **LULUS** ujian komprehensif dengan Yudisium **SANGAT
MEMUASKAN**

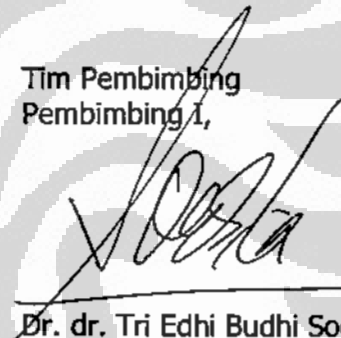
Jakarta, Mei 2009

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Ilmu Lingkungan



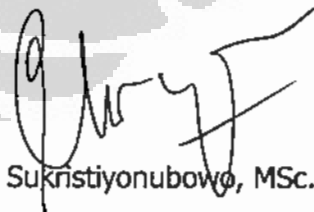
Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA

Tim Pembimbing
Pembimbing I,



Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, MSi.

Pembimbing II,



Dr. Ir. Sukristiyonubowo, MSc.

Nama: Mas Teddy Sutriadi
NPM/Angkatan: 0706308780
Kekhususan: Ekologi Manusia
Judul Tesis: DAMPAK PEMUPUKAN NITROGEN PADA BUDIDAYA TANAMAN SEMUSIM DI DAERAH PERTANIAN DATARAN TINGGI
 (Studi pada Sub DAS Klakah DAS Serayu Kabupaten Wonosobo)

Komisi Penguji Tesis

No.	Nama Lengkap & Gelar Akademik	Keterangan	Tanda Tangan
1.	Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA	Ketua Sidang	
2.	Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, MSi.	Sekretaris Sidang	
3.	Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, MSi.	Pembimbing	
4.	Dr. Ir. Sukristiyonubowo, MSc.	Pembimbing	
5.	Dr. Ir. Moh. Hasroel Thayib, APU	Penguji Ahli	
6.	Prof. Dr. RTM Sutarnihardja, M.Ag.(Chem)	Penguji Ahli	

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

N a m a : Mas Teddy Sutriadi.
Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 09 Mei 1963.
Alamat : Jln. Gandaria Raya No. 64. Komplek Atsiri Permai. Citayam. Kabupaten Bogor 16431.

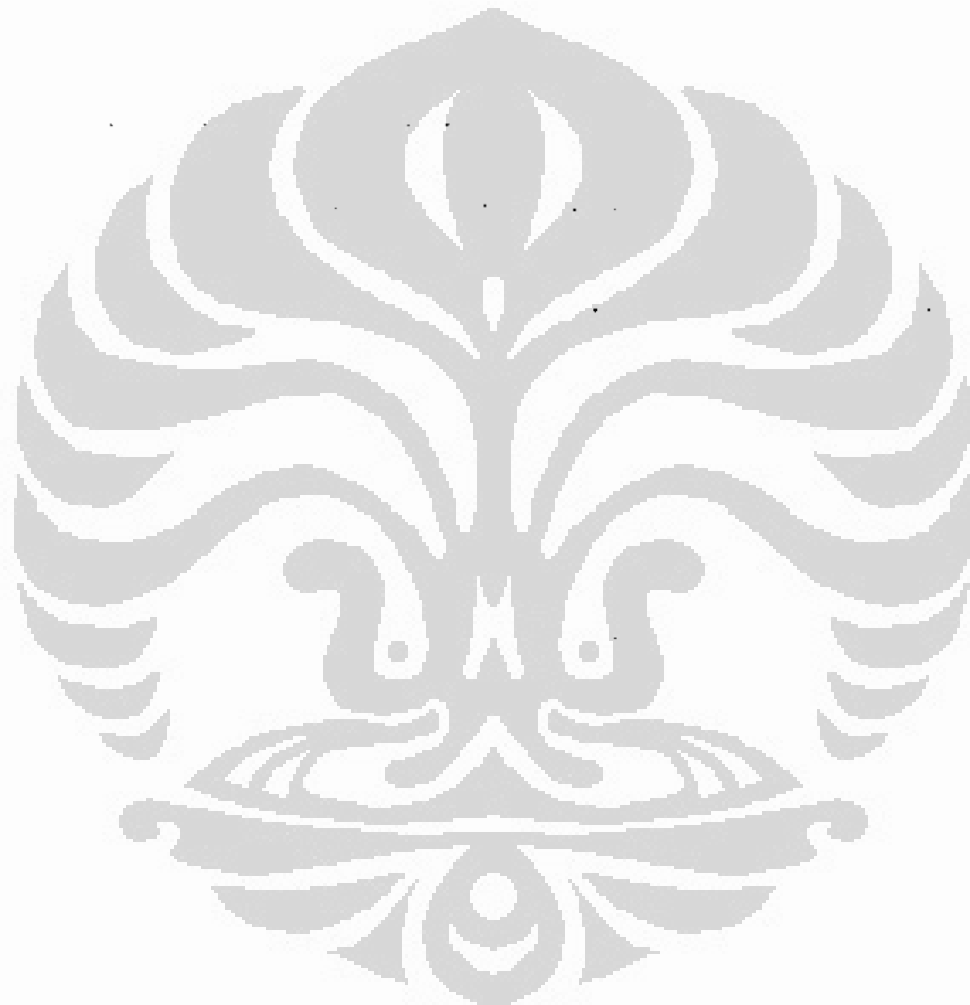
PENDIDIKAN:

1. S1, Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, 1986.
2. SMA Negeri 70, Jakarta, 1982.
3. SMP Negeri 68, Jakarta, 1979.
4. SD Negeri 01 Pagi Pondok Labu, Jakarta, 1975.

PENGALAMAN BEKERJA:

1. 1987-1992 : Tenaga lapang spesialis tanah pada Proyek Crop Livestock System Research di Batumarta, Sumatera Selatan.
2. 1989-1996 : Peneliti pada Kelompok Peneliti Sistem Usahatani di Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
3. 1995 : Tenaga Bantuan Teknis untuk Pengembangan Pertanian di Tanzania.
4. 1996-2009 : Peneliti pada Kelompok Peneliti Kesuburan Tanah dan Pemupukan di Balai Penelitian Tanah, Bogor.
5. 1996-1998 : Tim Surveyor Lahan Gambut Sejuta Hektar di Kalimantan Tengah.
6. 1998-2000 : Site Koordinator pada Proyek Pengembangan Sistem Usahatani Pertanian Lahan Pasang Surut Sumatera Selatan.
7. 2004 : Pimbagpro Proyek Sumbedayaa Lahan di Balai Penelitian Tanah, Bogor.
8. 2005 : Bendahara Pengeluaran di Balai Penelitian Tanah, Bogor.

9. 2006 : Pejabat Pembuat Komitmen di Balai Penelitian Tanah, Bogor.
10. 2007 : Kepala Urusan Kerjasama Penelitian di Balai Penelitian Tanah, Bogor.
11. 2008-2009 : Kepala Urusan Unit Alih Teknologi di Balai Penelitian Tanah, Bogor.



**DAMPAK PEMUPUKAN NITROGEN PADA BUDIDAYA TANAMAN
SEMUSIM DI DAERAH PERTANIAN DATARAN TINGGI
(Studi pada Sub DAS Klakah DAS Serayu Kabupaten Wonosobo)**

ABSTRAK

Penelitian dilaksanakan di Sub DAS Klakah DAS Serayu Kabupaten Wonosobo pada Musim Kemarau 2008 dan Musim Hujan 2008. Penelitian menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif dengan format deskriptif *Ex Post Facto*. Sebanyak 54 contoh air dari Sub DAS Klakah diamati kadar nitratnya dan sebanyak 75 petani contoh diwawancarai.

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Faktor pendorong petani memupuk nitrogen dengan dosis berlebihan adalah untuk meningkatkan produksi (0,39), kemudian berturut-turut peringkat kedua, ketiga, dan keempat adalah pendapatan (0,30), kesuburan tanah (0,22), dan harga sayuran (0,09); (2) Dosis pupuk N yang diterapkan petani lebih tinggi 70%, dan 6% dari dosis rekomendasi untuk tanaman kentang dan kubis, sedangkan untuk tanaman jagung masih di bawah dosis rekomendasi; (3) Produksi tanaman kentang, kubis, dan jagung pada wilayah studi lebih rendah dari potensi hasilnya, tetapi masih memberikan keuntungan usahatani, dengan B/C masing-masing 0,98; 1,44; dan 1,64; (4) Pemupukan N dosis tinggi meningkatkan secara nyata konsentrasi nitrat dalam air sungai. Namun konsentrasi nitrat di semua lokasi pengamatan masih menunjukkan nilai yang lebih rendah dari konsentrasi NO_3^- yang diperkenankan untuk air minum (45 mg/l), dan (5) Sebanyak 58% petani menerapkan teknologi konservasi tidak sesuai dengan kemiringan lerengnya; serta Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalkan dampak adalah a) penerapan pola tanam yang mengkombinasikan tanaman sayuran umbi, daun, dan biji (jagung-kentang-kubis), b) penerapan dosis pemupukan sesuai dengan rekomendasi, c) perbaikan teknologi konservasi tanah sesuai dengan kemiringan lerengnya, d) penanaman tanaman tahunan atau tanaman legum pohon pada batas kepemilikan lahan pada lahan dengan kemiringan kurang dari 15%, e) penanaman tanaman tahunan dan melarang penanaman tanaman semusim pada tanah dengan kemiringan lereng lebih besar dari 15%, dan f) peningkatan aktivitas penyuluhan melalui kelompok tani secara berkala dan membuat demplot teknologi pemupukan dan konservasi tanah.

Kata Kunci: *nitrat, dosis pupuk nitrogen, pendapatan petani, teknologi konservasi tanah.*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Subhana Wata'ala yang telah memberi nikmat rohani dan jasmani, dan atas ridho Nya lah, Penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan tesis ini dilaksanakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister dalam Ilmu Lingkungan pada Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, MSi. dan Dr. Ir. Sukristiyonubowo, MSc. selaku pembimbing penelitian, atas segala bimbingan, saran, dan nasehat yang diberikan selama pelaksanaan penelitian sampai dengan penyelesaian penulisan tesis ini.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Ir. Setyo Moersidik, DEA, selaku Ketua Program Studi Kajian Ilmu Lingkungan atas kemudahannya selama menempuh pendidikan.
2. Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, MSi. dan Dr. Ir. Sukristiyonubowo, MSc. Atas bimbingan dan arahnya dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis ini.
3. Pemda Kabupaten Wonosobo, Kecamatan Kejajar, dan Kepala Desa Buntu dan Tambi yang atas ijin penelitian, bantuan, dan informasinya.
4. Prof. Dr. Irsal Las dan Dr. Ir. Achmad Rachman, MSc. atas ijin dan dorongannya diberikan kepada Penulis.
5. Pak Ibrahim, SP., Ir. Didik, dan Mulyadi yang telah membantu dalam pengamatan dan pengambilan contoh air.
6. Ibu Dr. Diah Setyorini, dan Ibu Ir. Ladyani Retno, MSc. atas bantuan fasilitas laboratorium dan akomodasi selama di lapang.
7. Petani di desa Buntu dan Tambi, khususnya Mas Sarju, atas

bantuan tenaga dan informasinya, serta pendampingannya selama Penulis di lapangan.

8. Pak Nurhakim dan keluarga yang telah mengizinkan Penulis untuk tinggal selama pelaksanaan penelitian.
9. Dosen-dosen yang telah memberikan ilmunya selama penulis menempuh pendidikan.
10. *Mbak* Irna, *Mbak* Erni, Pak Udin, dan Pak Nas sebagai pengelola Sekretariat Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia yang banyak membantu selama masa pendidikan.
11. Teman-teman angkatan 26, khususnya angkatan 26 B, berkat kekompakkan dan dorongan semangatnya .
12. Ibu, Mertua, dan keluarga atas limpahan doa dan kasih-sayangannya.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna. Mudah-mudahan Tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, Juni 2009

Penulis,

Mas Teddy Sutriadi

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR PETA	vii
DAFTAR SINGKATAN	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
<i>SUMMARY</i>	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	6
2. TINJAUAN KEPUSTAKAAN	7
2.1. Kerangka Teoretik	7
2.1.1. Lahan Dataran Tinggi Beriklim Basah	7
2.1.2. Budi Daya Sayuran Dataran Tinggi	9
2.1.3. Teknologi Pengelolaan Lahan	10
2.1.4. Nitrogen	12
2.1.5. Pencemaran Nitrat	24
2.2. Kerangka Berpikir	27
2.3. Kerangka Konsep	28
2.4. Hipotesis	28
3. METODE PENELITIAN	29
3.1. Pendekatan Penelitian	29
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.3. Populasi dan Populasi Contoh Penelitian	30
3.4. Konsep Operasional Variabel Penelitian	33
3.5. Data Penelitian	35
3.6. Pengolahan dan Analisis Data	38
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1. Karakteristik Wilayah Studi	40
4.1.1. Lokasi dan Penggunaan Lahan	40

4.1.2. Iklim	44
4.1.3. Karakteristik Tanah dan Kemiringan Lereng	45
4.1.4. Karakteristik Petani	48
4.2. Keterbatasan Penelitian	50
4.3. Faktor Pendorong Pemupukan N	51
4.4. Dosis Pemupukan Nitrogen	52
4.5. Dampak Pemupukan N pada Produksi dan Pendapatan Petani	58
4.6. Dampak Pemupukan N pada Konsentrasi Nitrat dalam Air Sungai	62
4.7. Teknologi Konservasi Tanah	71
4.8. Alternatif Teknologi Pengelolaan Lahan pada Budidaya Sayuran Dataran Tinggi	75
5. KESIMPULAN	79
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	85

DAFTAR TABEL

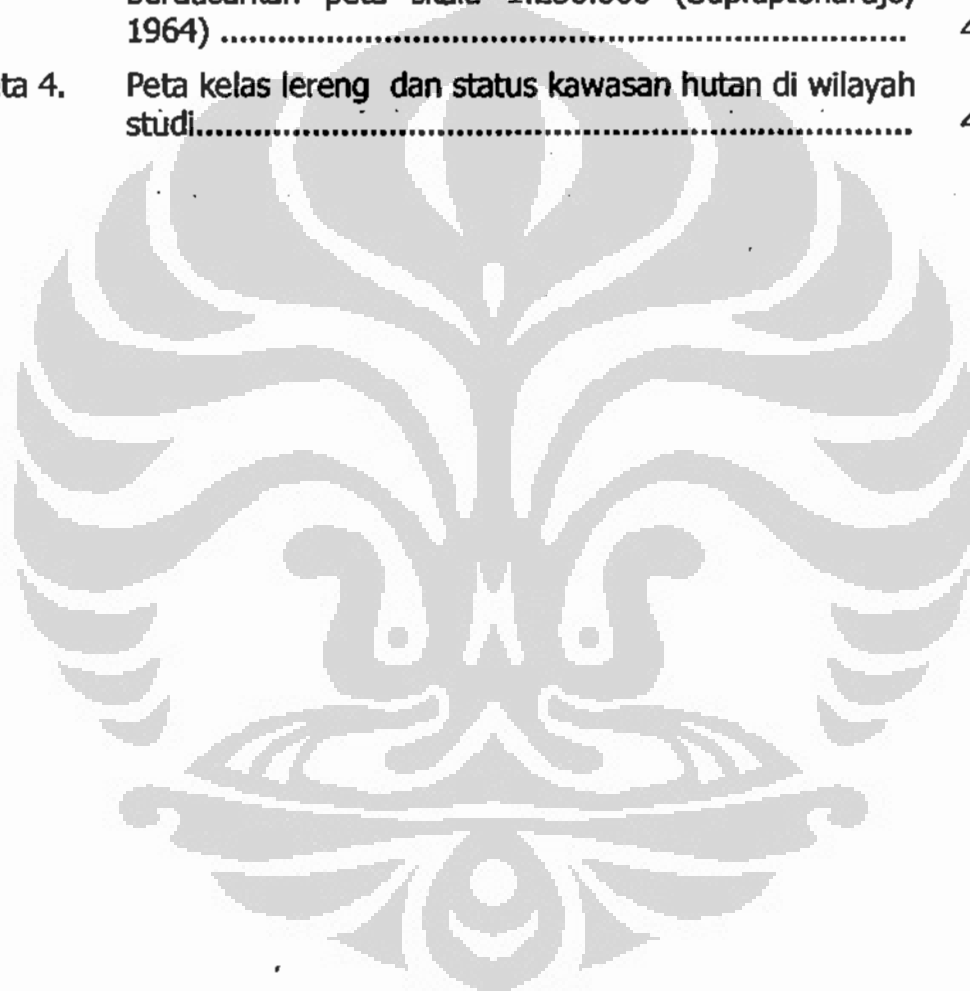
	Halaman
Tabel 1. Matrik Variabel Penelitian	35
Tabel 2. Jenis, Metode Pengumpulan, dan Sumber Data	36
Tabel 3. Analisis untuk Menjawab Tujuan Penelitian	38
Tabel 4. Jenis penggunaan lahan di desa Buntu dan Tambi kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Tahun 2007	40
Tabel 5. Luas dan Produksi Tanaman Semusim di desa Tambi dan Buntu, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Tahun 2007.....	42
Tabel 6. Karakteristik lahan di wilayah studi	46
Tabel 7. Luas dan persentase wilayah studi berdasarkan kelas lereng	47
Tabel 8. Karakteristik petani responden ditinjau dari umur, pendidikan, jenis pekerjaan, dan luas lahan di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo.....	48
Tabel 9. Produksi, pendapatan petani dan BCR tanaman sayuran di kecamatan Kejajar, Kabupetan Wonosobo....	59
Tabel 10. Korelasi antara pupuk nitrogen anorganik dan organik dengan hasil kentang pada Sub DAS Klakah Kecamatan Kejajar Kabupaten Wonosobo.....	61
Tabel 11. Debit air sungai, konsentrasi nitrat dan jumlah nitrat terbawa pada sub Das Klakah, DAS Serayu di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Musim Kering 2008.....	63
Tabel 12. Debit air sungai, konsentrasi nitrat dan jumlah nitrat terbawa pada sub Das Klakah, DAS Serayu di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Musim Hujan 2008.....	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Siklus Nitrogen	13
Gambar 2. Siklus Nitrogen pada lahan pertanian	15
Gambar 3. Proses denitrifikasi di perairan.....	20
Gambar 4. Kerangka Konsep Penelitian	28
Gambar 5. Skema teknis penetapan petani contoh pada wilayah studi.....	31
Gambar 6. Denah lokasi pengambilan contoh air.....	32
Gambar 7. Curah hujan selama satu tahun dari Januari sampai dengan Desember. Tahun 2008.....	45
Gambar 8. Penggunaan pupuk nitrogen (%) oleh petani responden untuk tanaman sayuran pada Sub DAS Klakah, DAS Serayu di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo.....	53
Gambar 9. Kontribusi jenis pupuk N anorganik terhadap dosis pupuk nitrogen yang diaplikasikan oleh petani responden pada usahatani sayuran di Sub DAS Klakah, DAS Serayu, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo	53
Gambar 10. Dosis pupuk N anorganik yang diaplikasikan oleh petani responden pada usahatani sayuran di Sub DAS Klakah, DAS Serayu, Kabupaten Wonosobo.....	55
Gambar 11. Dosis pupuk N organik yang diaplikasikan oleh petani responden pada usahatani sayuran di Sub DAS Klakah, DAS Serayu, Kabupaten Wonosobo.....	56
Gambar 12. Regresi linear hubungan antara dosis pupuk dengan produksi kentang selama 3 musim pertanaman pada Sub DAS Klakah, DAS Serayu di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo.....	61
Gambar 13. Penampilan teras bangku yang diterapkan petani di Sub DAS Klakah.....	72
Gambar 14. Sketsa teras bangku miring ke dalam dan teras bangku datar	72
Gambar 15. Teras bangku yang berada pada kemiringan lereng lebih dari 40% di Sub DAS Klakah.....	73
Gambar 16. Gulud tidak permanen yang diterapkan petani	74
Gambar 17. Sketsa penampang samping teras gulud permanen.....	74

DAFTAR PETA

	Halaman
Peta 1. Peta Lokasi penelitian dampak pemupukan nitrogen pada budi daya sayuran dataran tinggi.....	41
Peta 2. Peta kawasan hutan lindung di Sub DAS Klakah.....	43
Peta 3. Peta Sebaran jenis tanah pada wilayah studi berdasarkan peta skala 1:250.000 (Suprptohardjo, 1964)	47
Peta 4. Peta kelas lereng dan status kawasan hutan di wilayah studi.....	48



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Kuesioner yang digunakan pada penelitian dampak pemupukan N dosis tinggi pada usahatani sayuran dataran tinggi	85
Lampiran 2. Data mentah hasil pengukuran nitrat di wilayah studi pada Musim Kemarau 2008.	91
Lampiran 3. Data mentah hasil pengukuran nitrat di wilayah studi pada Musim Hujan 2008.....	92
Lampiran 4. Anova dan perbedaan nilai rata-rata konsentrasi nitrat air sungai Sub DAS Klakah pada musim hujan 2008.....	93
Lampiran 5. Anova dan perbedaan nilai rata-rata debit air sungai Sub DAS Klakah pada musim hujan 2008.....	94
Lampiran 6. Anova dan perbedaan nilai rata-rata nitrat terbawa air sungai Sub DAS Klakah pada musim hujan 2008.....	95
Lampiran 7. Anova dan perbedaan nilai rata-rata Konsentrasi nitrat air sungai Sub DAS Klakah pada musim kemarau 2008.....	96
Lampiran 8. Anova dan perbedaan nilai rata-rata debit air sungai sungai Sub DAS Klakah pada musim kemarau 2008.....	97
Lampiran 9. Anova dan perbedaan nilai rata-rata nitrat terbawa air sungai Sub DAS Klakah pada musim kemarau 2008.....	98
Lampiran10. Daftar Kriteria Kualitas Air golongan A menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 tanggal 5 Juni 1990.....	99

DAFTAR SINGKATAN



ANOVA:	<i>Analysis of Varians</i>
BCR:	<i>Benefit Cost Ratio</i>
BPS:	Badan Pusat Statistik
Bakosurtanal:	Badan Koordinasi Survey Nasional
Balittanah:	Balai Penelitian tanah
DAS:	Daerah aliran sungai
Ditjen:	Direktorat Jenderal
DMRT:	<i>Duncan Multiple Range Test</i>
K:	Kalium
N:	Nitrogen.
P:	Fosfor
PPL:	Penyuluh Pertanian Lapang
RHL:	Revolusi Hijau Lestari
SPA:	Saluran pembuangan air
SD:	Sekolah Dasar
SMP:	Sekolah Menengah Pertama
TPA:	Tempat pembuangan akhir

RINGKASAN

Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Indonesia Tesis, Mei 2009

- A. Nama: Mas Teddy Sutriadi
- B. Judul Tesis: DAMPAK PEMUPUKAN NITROGEN PADA BUDIDAYA TANAMAN SEMUSIM DI DAERAH PERTANIAN DATARAN TINGGI
(Studi pada Sub DAS Klakah DAS Serayu Kabupaten Wonosobo)
- C. Jumlah halaman: Halaman permulaan, 16, halaman isi, 100, Gambar, 17, Peta, 4, Tabel, 12, Lampiran, 10.

Isi Ringkasan:

Tanaman sayuran adalah tanaman semusim yang banyak dibudidayakan di daerah pertanian dataran tinggi. Penerapan pupuk nitrogen secara berlebihan pada budidaya sayuran selain pemborosan, juga tidak menguntungkan bagi kelestarian lahan dan lingkungan. Residu pupuk nitrogen berupa nitrat (NO_3^-) dapat menurunkan kualitas air, baik air irigasi, maupun air tanah (sumur), bahkan produk pertanian.

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah tingginya dosis pupuk nitrogen pada budidaya tanaman semusim di daerah pertanian dataran tinggi yang akan meningkatkan konsentrasi nitrat air sungai.

Tujuan umum yang akan dicapai oleh peneliti ini adalah mencari alternatif teknologi pengelolaan lahan pada budidaya tanaman semusim di daerah pertanian dataran tinggi. Sedangkan tujuan yang lebih spesifik adalah: (1) Mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan petani menggunakan pupuk berlebihan; (2) Mengetahui teknologi pemupukan nitrogen yang diterapkan petani pada budidaya tanaman semusim di daerah pertanian dataran tinggi; (3) Mengetahui dampak pemupukan nitrogen pada produksi dan pendapatan usahatani tanaman semusim di daerah pertanian dataran tinggi; (4) Mengetahui dampak pemupukan nitrogen pada konsentrasi nitrat air sungai; dan (5) Mengidentifikasi teknologi pengelolaan lahan yang diterapkan petani pada budidaya tanaman semusim di daerah pertanian dataran tinggi.

Penelitian dilaksanakan di Sub DAS Klakah DAS Serayu Kabupaten Wonosobo pada Musim Kemarau 2008 dan Musim Hujan 2008, yang

berada pada 2 wilayah administrasi desa, yaitu Desa Buntu dan Desa Tambi di Kecamatan Kejajar. Penelitian menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif dengan format deskriptif *Ex Post Facto*. Penetapan petani contoh menggunakan metode *Non Proporsional Stratified Sampling*. Sebanyak 54 contoh air dari Sub DAS Klakah diamati kadar nitratnya dan sebanyak 75 petani contoh diwawancarai.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas areal penelitian adalah sebanyak 25% petani menanam sayuran pada kemiringan lereng lebih besar dari 25%. Selain itu dari 211 ha (48%) yang merupakan hutan lindung, 83 ha (20%) diantaranya ditanami sayuran. Wilayah ini seharusnya tidak untuk ditanami tanaman semusim. Penegakan peraturan yang tegas diperlukan agar kawasan hutan lindung dikembalikan kepada fungsinya.

Pemupukan N di wilayah studi pada tanaman kentang, kubis, dan jagung adalah berturut-turut 312, 167, dan 43 kg N/ha atau setara dengan 678, 363, dan 93 kg/ha urea. Dosis ini lebih tinggi 70% dan 6% dari rekomendasi untuk kentang dan kubis, sedangkan untuk jagung masih di bawah rekomendasi. Hal ini akan menyebabkan meningkatnya kadar nitrat dalam air sungai, karena tidak semua N dapat dimanfaatkan tanaman. Sebagian besar N dalam bentuk nitrat akan hilang tercuci masuk ke air tanah kemudian ke air sungai. Pemupukan N yang lebih tinggi dari rekomendasi berbahaya bagi lingkungan, karena tidak semua N dapat dimanfaatkan tanaman. Sebagian besar N dalam bentuk nitrat akan hilang tercuci masuk ke air tanah kemudian ke air sungai, sehingga konsentrasi nitrat dapat melebihi batas ambang yang diperkenankan. Dampak ekologis meningkatnya konsentrasi nitrat adalah terjadinya *eutrofikasi* pada kolam-kolam penampungan yang bersumber dari sungai tersebut, sehingga akan mengakibatkan meningkatnya kematian ikan pada kolam tersebut. Hasil wawancara dengan petani yang memiliki kolam ikan mengemukakan bahwa tingkat kematian ikan pada musim kemarau meningkat hingga 15%. Selain itu juga jika air sungai tersebut dimanfaatkan sebagai sumber air minum dapat menyebabkan keracunan akut pada manusia dan ternak.

Pemberian pupuk N anorganik dan organik memberikan korelasi yang nyata pada produksi kentang.

Pada musim kemarau dan musim hujan walaupun konsentrasi nitrat-NO₃ di seluruh lokasi pengamatan menunjukkan bahwa walaupun tingginya dosis pemupukan N berpengaruh nyata pada konsentrasi nitrat air sungai yang diamat, tetapi nilainya masih lebih rendah dari konsentrasi nitrat-NO₃ yang diperkenankan yaitu 45 mg/l atau 10 mg nitrat-N/l.

Petani yang menerapkan teras bangku sebanyak 46%, dimana sebanyak 25% teras bangku berada pada kemiringan lereng yang sangat curam lebih dari 40%. Teras gulud tidak permanen diterapkan oleh 54% petani, dimana 33% petani menerapkannya pada lahan dengan kemiringan lebih

besar dari 8-40%. Hal ini akan mengakibatkan meningkatnya erosi tanah dan nitrogen yang hilang melalui aliran permukaan masuk ke sungai.

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Faktor pendorong petani memupuk urea dengan dosis di atas rekomendasi adalah untuk meningkatkan produksi (0,39), kemudian berturut-turut peringkat kedua, ketiga, dan keempat adalah untuk meningkatkan pendapatan (0,30), untuk meningkatkan kesuburan tanah (0,22), dan harga sayuran tinggi (0,09); (2) Dosis pupuk N yang diterapkan petani pada tanaman kentang, kubis, dan jagung berturut-turut adalah 312, 167, dan 43 kg N/ha. Dosis ini lebih tinggi 70%, dan 6% dari dosis rekomendasi untuk tanaman kentang dan kubis, sedangkan untuk tanaman jagung masih di bawah dosis rekomendasi; (3) Produksi tanaman kentang, kubis, dan jagung pada wilayah studi lebih rendah dari potensi hasilnya, tetapi masih memberikan keuntungan usahatani (B-C ratio) masing-masing 0,98; 1,44; dan 1,64. Pemberian pupuk urea dan kotoran ayam memberikan korelasi yang nyata terhadap produksi kentang yang ditunjukkan oleh koefisien korelasi (R) masing-masing 0,5564 dan 0,5806; (4) Pemupukan N dosis tinggi meningkatkan secara nyata konsentrasi nitrat dalam air sungai, sebesar 64 dan 68% dari konsentrasi nitrat air sungai di bagian hulu masing-masing pada musim kemarau dan hujan. Namun konsentrasi nitrat di semua lokasi pengamatan masih menunjukkan nilai yang lebih rendah (24-40,97 mg NO_3^-/l pada musim kemarau dan 6,91-17,88 mg NO_3^-/l) dari konsentrasi NO_3^- yang diperkenankan untuk air minum (45 mg/l), dan (5) Teknologi konservasi tanah yang diterapkan petani adalah teras bangku (46%), dan teras gulud tidak permanen (54%). Sebanyak 58% petani menerapkan teknologi konservasi tidak sesuai dengan kemiringan lerengnya; serta Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalkan dampak adalah a) penerapan pola tanam yang mengkombinasikan tanaman sayuran umbi, daun, dan biji (jagung-kentang-kubis), b) penerapan dosis pemupukan sesuai dengan rekomendasi, c) perbaikan teknologi konservasi tanah sesuai dengan kemiringan lerengnya, d) penanaman tanaman tahunan seperti Albasia atau Suren atau Randu, atau tanaman tahunan legum pohon pada batas kepemilikan lahan pada lahan dengan kemiringan kurang dari 15%, e) penanaman tanaman tahunan dan melarang penanaman tanaman semusim (sayuran dan palawija) pada tanah dengan kemiringan lereng lebih besar dari 15%, dan f) peningkatan aktivitas penyuluhan melalui kelompok tani secara berkala dan membuat demplot teknologi pemupukan dan konservasi tanah.

Daftar Kepustakaan : 38 (dari tahun 1971 sampai 2007)

SUMMARY

**Program Studi Ilmu Lingkungan
Program Pascasarjana Universitas Indonesia
Tesis, Mei 2009**

- A. Name: Mas Teddy Sutriadi
- B. Title: **IMPACT OF NITROGEN FERTILIZING ON ANNUAL CROP FARMING IN HIGHLAND AGRICULTURE (A Study at Klakah Sub-Catchment, Serayu Catchment, Wonosobo District)**
- C. Number of pages: Initial page, 16, content, 100, Figure, 17, Map, 4, Table, 12, Appendix, 10.

D. SUMMARY

The vegetable crop is annual crop than most be planted in highland agriculture. The farmer applied excessive nitrogen fertilizer and higher than the recommended rates. Consequently, it was waste the money, reduced yield quality, and created environmental risks, such reduce water resources quality.

Based on the background, the problem formulation was the high nitrogen fertilizer rate in the highland vegetable production can increase nitrate concentration of river water. Therefore, the general goal of this research was to obtain alternative technology of land management for the highland vegetable farming system. Specifically, the aims were (1) to identify supporting factors why the farmers apply high nitrogen fertilizer rate, (2) to know the nitrogen fertilizer rate given by the farmers in the highland vegetables production, (3) to know the impact of nitrogen fertilizer on production and income, (4) to know the impact of nitrogen fertilizer on nitrate concentration of river water, and (5) to identify soil conservation technologies applied by the farmers in the highland vegetables production.

The research was carried out in Klakah sub watershed, Serayu watershed, Wonosobo district for the Rainy Season 2008-09 and the Dry Season 2009. The Klakah watershed covered two villages, namely Buntu and Tambi villages. This research used quantitative approach including descriptive format of Ex Post Facto and analyzing water samples. Fifty four water samples were taken for nitrate analysis and seventy five farmers were interviewed.

The total research area is 432 ha and about 50 % was protected area, in which 83 ha was granted for vegetables. The farmers planted vegetables at land slope of up to 25%. This area should not be cultivated with vegetables. Therefore, law enforcement has to be done to keep this area being protected forest and to avoid any land conversion.

The rates of nitrogen fertilizer for potato, cabbage, and sweet corn were 312, 167, and 43 kg N/ha/season, respectively. The rates of potato and cabbage were higher about 70% and 6% compared to the recommendation rates for potato and cabbage, respectively. The farmers also applied organic fertilizer (chicken manure) higher than the recommended rate; about 25% higher than the recommendation rate. These conditions may lead to elevate nitrate content in river water. The potato yield was considered low; lower than its potential yield (40 t/ha). This caused the farmers applying more urea rather than adding P and K fertilizers.

In the Dry Season 2009 and the Rainy Season 2008-09, although the nitrate concentration in river water were lower than the threshold value for save drinking water (45 mg NO₃⁻/l), application of high nitrogen fertilizer rate has significantly elevated the nitrate concentration of river waters.

The farmers that applied bench terraces was 46%, however, 25% of the bench terraces were situated in the land slope higher than 40%. Hillside ditch (*teras gulud*) was applied by 54% of the farmers and 33 % of them was located in the land slope of higher than 8%. Thus, application of soil conservation technology was still unacceptable and needed to be improved.

The research conclusions were as follows:

- (1) The supporting factors why the farmers applied high nitrogen fertilizer rate were to increase yield, to improve income, to improve soil fertility, and to get high price.
- (2) The rate of nitrogen fertilizer for potato, cabbage, and sweet corn were 312, 167 and 43 kg N/ha/season, respectively; equal to 678, 363, and 93 kg urea/ha/season. These rates of potato and cabbage were greater about 70% and 6% than their recommended rates, respectively.
- (3) The yield of potato, cabbage and sweet corn were lower than their potential yields, however, they still gave benefit and in term of BC ratio they still gave 0.98; 1.44 and 1.64 for potato, cabbage and sweet corn, respectively. The application of nitrogen fertilizer as well chicken manure has closely related to the potato yield with the

coefficient correlation (R) of 0.5564 for nitrogen fertilizer and 0.5806 for chicken manure.

- (4) The high nitrogen fertilizer rate in the vegetables production system significantly increased the nitrate concentration of the river water. The increase was about 64-68% compared to the nitrate concentration of river water sampled from the location with no vegetable cultivation. The nitrate concentrations in all observed areas were still lower than threshold value for safe drinking water. The nitrate concentration of the river water sampled in the dry season ranged between 24 and 37 mg NO₃⁻/l and for the rainy season varied from 6.91 to 12.35 mg NO₃⁻/l.
- (5) The soil conservation techniques applied were bench terraces and hillside ditch (*teras gulud*). About 46 % of the farmers applied bench terraces and 54 % of the farmers applied hillside ditch. So far, about 18 % of the farmers applied the soil conservation in the protected area that are not recommended for annual crops.

The alternative technology advised are (a) applying balanced crop rotation including leafy-root-grain for example cabbage-potato-sweet corn, (b) applying recommended fertilizer rate, (c) improving soil conservation techniques, and (d) planting trees like legume trees for the land slope higher than 15%.

Number of References: 38 (issued from 1971 to 2007).

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

The Earth Summit (KTT Bumi) 1992 di Rio de Janeiro adalah indikator utama semakin besarnya perhatian dan kepedulian dunia internasional pada masalah lingkungan serta semakin mencuatkan pentingnya pembangunan berkelanjutan. Isu lingkungan di sektor pertanian sudah menjadi topik pembicaraan setelah Revolusi Hijau digulirkan pada akhir tahun 1960-an. Selain karena perhatian dan kepedulian masyarakat dunia semakin besar, disadari pula bahwa beberapa inovasi teknologi muatan dari Revolusi Hijau berpotensi merusak atau mengganggu lingkungan. Tujuan utama Revolusi Hijau adalah untuk menghasilkan bahan pangan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan penduduk yang jumlahnya terus meningkat.

Revolusi Hijau di Indonesia dimulai pada era tahun 1970-an melalui program Bimbingan Massal (Bimas) untuk mencapai swasembada beras. Introduksi varietas unggul padi yang responsif pada pemupukan, pembangunan jaringan irigasi, pengendalian hama dan penyakit tanaman menjadi andalan Program Bimas. Di satu sisi, Revolusi Hijau terbukti mampu meningkatkan produksi pangan nasional, namun di sisi lain telah menyebabkan munculnya permasalahan lingkungan sebagai dampak dari aplikasi pupuk dan pestisida yang berlebihan.

Setelah swasembada beras berhasil diraih pada tahun 1984, disadari bahwa penerapan Revolusi Hijau juga memiliki beberapa dampak negatif, antara lain kecenderungan penggunaan *input* yang tinggi, terutama pupuk dan pestisida. Disadari bahwa penggunaan pupuk dan pestisida kimia memang sangat penting artinya untuk meningkatkan produksi padi. Namun demikian penggunaan pupuk dan pestisida ini ternyata telah mencemari sebagian sumber daya lahan, air, dan lingkungan. Sekitar 85%

air yang mengairi sebagian besar lahan sawah di Jawa mengandung 54 mg/l nitrat atau 20% lebih tinggi dari batas toleransi yaitu 45 mg/l (Las *et al*, 2006: 177).

Hasil pengukuran contoh air dari sumur dan air irigasi yang ada di daerah aliran sungai (DAS) Citarik dan Kaligarang menunjukkan bahwa kadari nitrat pada beberapa sumur di bawah kondisi budi daya tanaman lahan kering telah melebihi batas maksimum konsentrasi nitrat (Nursyamsi *et al*, 2001 *dalam* Agus & Irawan, 2006: 113).

Seperti halnya pada budidaya padi sawah, tanaman sayuran merupakan tanaman semusim yang banyak dibudidayakan di lahan kering dataran tinggi, juga sering dituding tidak ramah lingkungan, antara lain karena potensi terjadinya erosi sangat tinggi dan pencemaran lingkungan akibat dari tingginya pemakaian masukan produksi (pupuk dan pestisida). Penggunaan pupuk kimia dalam usahatani sayuran cenderung berlebihan. Hal ini semata-mata untuk meningkatkan produksi tanpa memperhatikan kebutuhan tanaman dan kemampuan dari tanah untuk menyediakan hara.

Hasil penelitian Balai Penelitian Tanah tahun 2007 pada sentra produksi sayuran di dataran tinggi Kabupaten Wonosobo memperlihatkan bahwa dosis pupuk nitrogen (N) yang diterapkan oleh petani sangat tinggi yaitu lebih dari 500 kg urea per hektar ditambah dengan paling sedikit 15 t pupuk organik per hektar. Padahal dosis rekomendasi pemupukan urea dan pupuk organik untuk tanaman sayuran adalah masing-masing 200-400 kg per hektar dan 10-20 t per hektar (Dirjen Bina Produksi Hortikultura, 2003: 15; Asandhi *et al*, 1989: 18; Proyek Pembangunan Penelitian Pertanian Nusa Tenggara, 1992: 64; Tim Pakar Prima Tani, 2005: 20). Pemakaian pupuk N secara berlebihan selain pemborosan, juga tidak menguntungkan bagi kelestarian lahan dan lingkungan. Residu pupuk N berupa nitrat (NO_3^-) dapat mencemari lingkungan sehingga

menurunkan kualitas sumber daya air, baik air irigasi maupun air tanah (sumur), bahkan tanah ataupun produk pertanian.

Nitrat (NO_3^-) dan nitrit (NO_2^-) adalah ion-ion anorganik alami, yang termasuk dalam bagian dari siklus N. Aktivitas mikroba di tanah atau air menguraikan sampah yang mengandung N organik pertama-pertama menjadi amonia, kemudian dioksidasi menjadi nitrat dan nitrit. Oleh karena nitrit dapat dengan mudah dioksidasi menjadi nitrat, maka nitrat adalah senyawa yang paling sering ditemukan di dalam air bawah tanah (*ground water*) maupun air yang terdapat di permukaan (*surface water*). Pencemaran oleh pupuk N, termasuk amonia anhidrat seperti juga sampah organik hewan maupun manusia, dapat meningkatkan kadar nitrat di dalam air. Senyawa yang mengandung nitrat di dalam tanah biasanya larut dan dengan mudah bermigrasi atau tercuci (*leaching*) dengan air bawah tanah.

Tingginya kadar nitrat di dalam air akan berdampak buruk pada kualitas air. Air yang mengandung nitrat melebihi baku mutu yang diperkenankan, jika dimanfaatkan oleh manusia, sebagai sumber air minum baik untuk manusia maupun ternak akan menyebabkan gangguan kesehatan, akibat dari direduksinya nitrat menjadi nitrit, contohnya: keracunan akut pada bayi dan kematian pada kambing atau sapi.

Selain itu juga, bahan makanan yang tercemar oleh nitrit ataupun bahan makanan yang diawetkan menggunakan nitrat dan nitrit dapat menyebabkan *methemoglobinemia* simptomatik pada anak-anak atau yang biasa disebut *blue baby*. Walaupun jarang menjadi sumber keracunan akut, sayuran memberi kontribusi lebih besar dari 70% nitrat dalam diet manusia tertentu. Kembang kol, bayam, brokoli, dan umbi-umbian memiliki kandungan nitrat alami lebih banyak dari sayuran

lainnya. Sangat berbahaya jika kandungan nitrat ini dikonsumsi oleh bayi, karena dapat menimbulkan keracunan akut atau penyakit *blue baby*.

Mengacu kepada pengalaman penerapan Revolusi Hijau I, pembangunan pertanian ke depan memerlukan reorientasi pendekatan, terutama dalam pengembangan sistem produksi budi daya pertanian. Beberapa komponen dan pendekatan Revolusi Hijau I masih cukup relevan, namun ada beberapa aspek yang perlu diperbaiki dan disempurnakan, seperti: 1) penggunaan teknologi tinggi berbasis sumberdaya (*knowledge and resources approach*), 2) penggunaan *input* yang rasional melalui pengembangan sistem pertanian modern (*Good Agricultural Practice, GAP*), 3) pemanfaatan sumber daya, teknologi (*Indigenous technology*), dan kearifan lokal (*local wisdom*), serta 4) perhatian yang lebih serius pada aspek kesehatan, lingkungan, serta potensi dan kelestarian sumber daya pedesaan. Keempat pendekatan tersebut telah dikemas dalam konsep Revolusi Hijau Lestari (RHL) atau *Evergreen Revolution* (Las et al, 2006: 110).

Selaras dengan RHL dan semakin mengemukanya isu lingkungan serta kesehatan, maka pembangunan pertanian berkelanjutan adalah pembangunan pertanian yang mengkombinasikan teknologi tradisional dengan teknologi modern. Jika penggunaan pupuk organik dianggap sebagai teknologi tradisional dan penggunaan pupuk anorganik sebagai teknologi modern, maka konsep pengelolaan hara terpadu yang mengkombinasikan pemupukan organik dengan anorganik sudah memenuhi kriteria pertanian berkelanjutan, dengan memperhatikan ketersediaan hara di dalam tanah dan kebutuhan tanaman.

1.2. Rumusan Masalah

Tanaman sayuran merupakan tanaman semusim yang banyak dibudidayakan di daerah pertanian dataran tinggi. Dosis pemupukan nitrogen pada budidaya tanaman sayuran cenderung berlebihan. Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah tingginya dosis pupuk N pada budidaya tanaman sayuran yang akan meningkatkan konsentrasi nitrat pada air sungai. Dari rumusan masalah tersebut muncul pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Faktor-faktor apa yang menyebabkan petani menggunakan pupuk berlebihan?
2. Berapa dosis pemupukan N yang diterapkan oleh petani pada budi daya tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi?
3. Apa dampak dari tingginya dosis pupuk N pada budi daya tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi pada produksi dan pendapatan usahatani?
4. Apakah dampak dari tingginya dosis pupuk N pada budi daya tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi mencemari air sungai?
5. Bagaimana teknologi konservasi tanah yang diterapkan petani pada budi daya tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan umum yang akan dicapai oleh peneliti ini adalah mencari alternatif teknologi pengelolaan lahan pada budi daya tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi. Tujuan yang lebih spesifik adalah:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan petani menggunakan pupuk N berlebihan.
2. Mengetahui dosis pemupukan N yang diterapkan petani budi daya tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi.
3. Mengetahui dampak pemupukan N pada produksi dan pendapatan usahatani tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi.
4. Mengetahui dampak pemupukan N pada pencemaran nitrat air sungai.
5. Mengidentifikasi teknologi konservasi tanah yang diterapkan petani pada budi daya tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai informasi kepada pemerhati lingkungan, dan dan masyarakat akademis tentang tentang bagaimana meminimalkan kerusakan lingkungan pada budidaya tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi.
2. Sebagai masukan kepada pengambil kebijakan tentang teknologi pengelolaan lahan yang dapat diterapkan pada budidaya tanaman sayuran di daerah pertanian dataran tinggi.
3. Sebagai bahan kajian ilmu lingkungan bagi masyarakat akademis; yang dapat mendukung perkembangan ilmu lingkungan.

2. TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Kerangka Teoretik

2.1.1. Lahan Dataran Tinggi Beriklim Basah

Ekosistem terbentuk oleh komponen biotik dan abiotik di suatu tempat yang berinteraksi membentuk suatu kesatuan yang teratur. Menurut Odum (1971: 8), keteraturan itu terjadi oleh adanya arus materi dan energi yang dikendalikan oleh arus informasi antar komponen dalam ekosistem itu, yang setiap komponennya mempunyai fungsi atau relung tertentu. Selama masing-masing komponen berfungsi dan bekerja sama dengan baik, maka keteraturan ekosistem akan tetap terjaga, sehingga ekosistem pada dasarnya selalu stabil tetapi dinamis.

Lahan pertanian sayuran di lahan dataran tinggi beriklim basah adalah lingkungan binaan, bagian dari lingkungan alam dan memiliki ekosistem khas yang disebut ekosistem pertanian. Ekosistem pertanian tersusun dari kompleks total organisme di suatu wilayah pertanian bersama dengan kondisi lingkungan yang ada, hasil perubahan oleh berbagai kegiatan manusia. Menurut Smit (1976: 14), ekosistem pertanian adalah ekosistem binaan yang didominasi oleh campur tangan manusia, tetapi bukan sebagai kesatuan tersendiri melainkan tetap menjadi bagian dari ekosistem alam. Ekosistem pertanian sayuran dataran tinggi adalah salah satu bentuk ekosistem binaan yang dalam perkembangannya ditujukan untuk memperoleh hasil sayuran yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Campur tangan manusia telah mengubah ekosistem alam menjadi ekosistem pertanian, dan manusia sebagai komponen ekosistem yang

dominan cenderung berupaya menyederhanakan sistem untuk kepentingannya. Campur tangan berupa tindakan sebagai berikut:

- a) Menyederhanakan keanekaragaman biotik dalam bentuk budi daya tanaman pertanian.
- b) Mengintroduksi materi dan energi dari luar sistem berupa pupuk, energi bahan bakar minyak dan energi hewan pengolah tanah, irigasi serta senyawa kimia (zat pengatur tumbuh dan pestisida).
- c) Mengubah bentang alam, dengan mengolah tanah serta mengatur lahan agar sesuai dengan syarat tumbuh tanaman.

Berbagai tindakan petani akan berdampak pada ekosistem, baik secara mikro maupun makro. Dampaknya adalah terjadinya perubahan yang mendasar pada beberapa komponen lingkungan seperti tanah, hidrologi, dan keanekaragaman hayati yang pada akhirnya akan berpengaruh pula pada kehidupan sosial, ekonomi, dan kesehatan petani itu sendiri maupun masyarakat dan makhluk hidup lainnya. Perubahan dilakukan secara berlebihan melebihi kemampuan homeostatis alam.

Wilayah dataran tinggi beriklim basah yang berpotensi untuk tanaman semusim lahan kering menyebar terutama di Sumatera, Kalimantan, Jawa, dan Sulawesi seluas 1,95 juta ha. Topografinya datar hingga berombak, berupa dataran tektonik dan dataran vulkan yang berupa *plateau*, dengan tanah ber*drainase* baik. Tanah yang terbentuk dari bahan vulkan masam dan sedimen umumnya mempunyai kesuburan alami rendah, sedangkan yang dari bahan vulkan *intermedier* dan basis tingkat kesuburan alaminya lebih baik (Hidayat & Mulyani, 2002: 22).

2.1.2. Budidaya Tanaman Sayuran Dataran Tinggi

Tanaman sayuran merupakan tanaman semusim yang banyak dibudidayakan di daerah pertanian dataran tinggi. Istilah sayuran biasanya digunakan untuk merujuk pada tunas, daun, buah, dan akar tanaman yang lunak dan dapat dimakan secara utuh atau sebagian, mentah atau dimasak sebagai pelengkap makanan berpati dan berdaging (Proyek Pembangunan Penelitian Pertanian Nusa Tenggara, 1992: 5). Sayuran yang dibudidayakan di Indonesia diperkirakan lebih dari 100 spesies dan sekitar 50 spesies lagi diambil langsung dari tumbuhan liar yang di bawa ke pasar atau dimasak.

Di Jawa wilayah tersebut seluas 0,14 juta ha terutama terdapat di dataran volkan *intermedier* di Jawa Barat dan di Jawa Tengah. Tanaman semusim yang umumnya ditanam di wilayah ini adalah tanaman hortikultura sayuran, yaitu kubis, tomat, buncis, wortel, kentang, kol, cabai, dan bawang merah (Hidayat dan Mulyani, 2002: 23 dan Kumia *et al*, 2000: 231).

Budidaya sayuran dataran tinggi umumnya dilakukan secara intensif, ditandai oleh adanya pertanaman sayuran yang senantiasa ditanam sepanjang tahun, karena ditunjang oleh curah hujan yang cukup dengan penyebaran merata. Berbagai jenis tanaman sayuran dataran tinggi diusahakan pada lahan-lahan kering berlereng di tanah Andisols, Inceptisols, atau Entisols di DAS bagian hulu yang secara umum tanah-tanah tersebut peka pada erosi (Kumia *et al*, 2004: 140). Kondisi tanah dengan topografi berlereng sangat peka pada gangguan atau perubahan dari luar seperti hujan yang menyebabkan erosi, longsor, dan aktivitas budidaya yang intensif, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lahan dan lingkungan sekitarnya.

Dibandingkan dengan tanaman semusim lainnya seperti tanaman pangan, tanaman sayuran dataran tinggi mampu memberikan keuntungan ekonomi yang lebih tinggi, tetapi diperlukan biaya budidaya yang sangat besar. Kendala utama yang sering dijumpai dalam budidaya sayuran selain banyaknya organisme pengganggu tanaman ialah produktivitasnya yang rendah (Dariah dan Husen, 2006: 266).

Usaha untuk mengatasi kendala tersebut di atas, umumnya petani melakukan pemupukan baik dengan menggunakan pupuk anorganik maupun pupuk organik. Namun penggunaan pupuk tersebut seringkali berlebihan, karena tidak memperhatikan status hara di dalam tanah dan kebutuhan tanaman. Pemberian pupuk anorganik dan organik yang cenderung berlebihan akan mengakibatkan kerusakan lingkungan.

2.1.3. Teknologi Pengelolaan Lahan

Salah satu masalah pokok yang dihadapi dalam pengelolaan sumberdaya alam untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat khususnya petani, adalah bagaimana sumberdaya alam tersebut dapat dimanfaatkan secara efisien dan lestari baik bagi generasi sekarang maupun yang akan datang. Usahatani sayuran dataran tinggi dapat dilakukan secara berkelanjutan dan berwawasan lingkungan, jika diterapkan teknologi pengelolaan lahan yang tepat, yaitu teknologi pemupukan berimbang dan teknologi konservasi tanah. Teknologi pemupukan berimbang yang mengkombinasikan pupuk anorganik dan pupuk organik, harus disertai dengan penerapan teknologi konservasi tanah agar produktivitas tanah dan tanaman dapat dipertahankan atau ditingkatkan.

Budianto (2002: 100) mengemukakan bahwa pemupukan berimbang tidak harus berupa pemupukan dengan menggunakan semua jenis pupuk. Pemupukan berimbang adalah pemberian pupuk ke dalam tanah untuk

mencapai status hara dalam tanah dan lingkungan tumbuh yang optimum bagi pertumbuhan dan hasil tanaman. Oleh karena itu pemupukan yang rasional dan berimbang dapat tercapai jika dosis pupuk memperhatikan status hara tanah serta kebutuhan tanaman akan hara tersebut untuk mencapai produksi optimum.

Kegiatan usahatani sayuran di dataran tinggi Dieng cukup intensif, yang menggunakan *in put* usahatani sangat tinggi. Tanaman kentang, kubis, dan wortel masing-masing menggunakan 20-25, 5-10, dan 5-10 t pupuk organik per ha serta 750, 200, dan 200 kg urea per hektar (Hayati *et al*, 2000:). Dosis rekomendasi pemupukan untuk ketiga jenis tanaman tersebut masing-masing adalah 10-20 t pupuk organik per ha serta 300-400 kg, 200-350 kg, dan 100-150 kg urea per ha (Dirjen Bina Produksi Hortikultura, 2003: 15; Asandhi *et al*, 1989: 18; Proyek Pembangunan Penelitian Pertanian Nusa Tenggara, 1992: 64; Tim Pakar Prima Tani, 2005: 20).

Dalam budidaya sayuran dataran tinggi, petani umumnya tidak menerapkan teknik konservasi tanah untuk mengendalikan erosi, padahal sayuran terletak pada topografi dengan bentuk wilayah bergelombang, berbukit sampai bergunung, sehingga tanahnya akan sangat mudah tererosi. Indikasi terjadinya erosi pada lahan sayuran dataran tinggi adalah besarnya kandungan sedimen tanah dalam air sungai yang senantiasa keruh sepanjang tahun, seperti Sungai Serayu, Citanduy, Citarum, dan lain-lain (Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, 1995: 35).

Penerapan teknik konservasi tanah dengan mengurangi derajat kemiringan lahan dan panjang lereng adalah salah satu cara terbaik mengendalikan erosi. Hal ini dapat ditempuh dengan menggunakan metode konservasi tanah baik secara mekanik maupun vegetatif. Pada

prakteknya, metode konservasi tanah mekanik dan vegetatif sulit untuk dipisahkan, karena penerapan metode konservasi tanah mekanik akan lebih efektif dan efisien jika disertai dengan penerapan metode vegetatif. Sebaliknya, meskipun penerapan metode vegetatif adalah pilihan utama, namun perlakuan fisik mekanis seperti pembuatan saluran pembuangan air (SPA), bangunan terjunan, dan lain-lain masih tetap diperlukan (Dariah *et al*, 2004: 109).

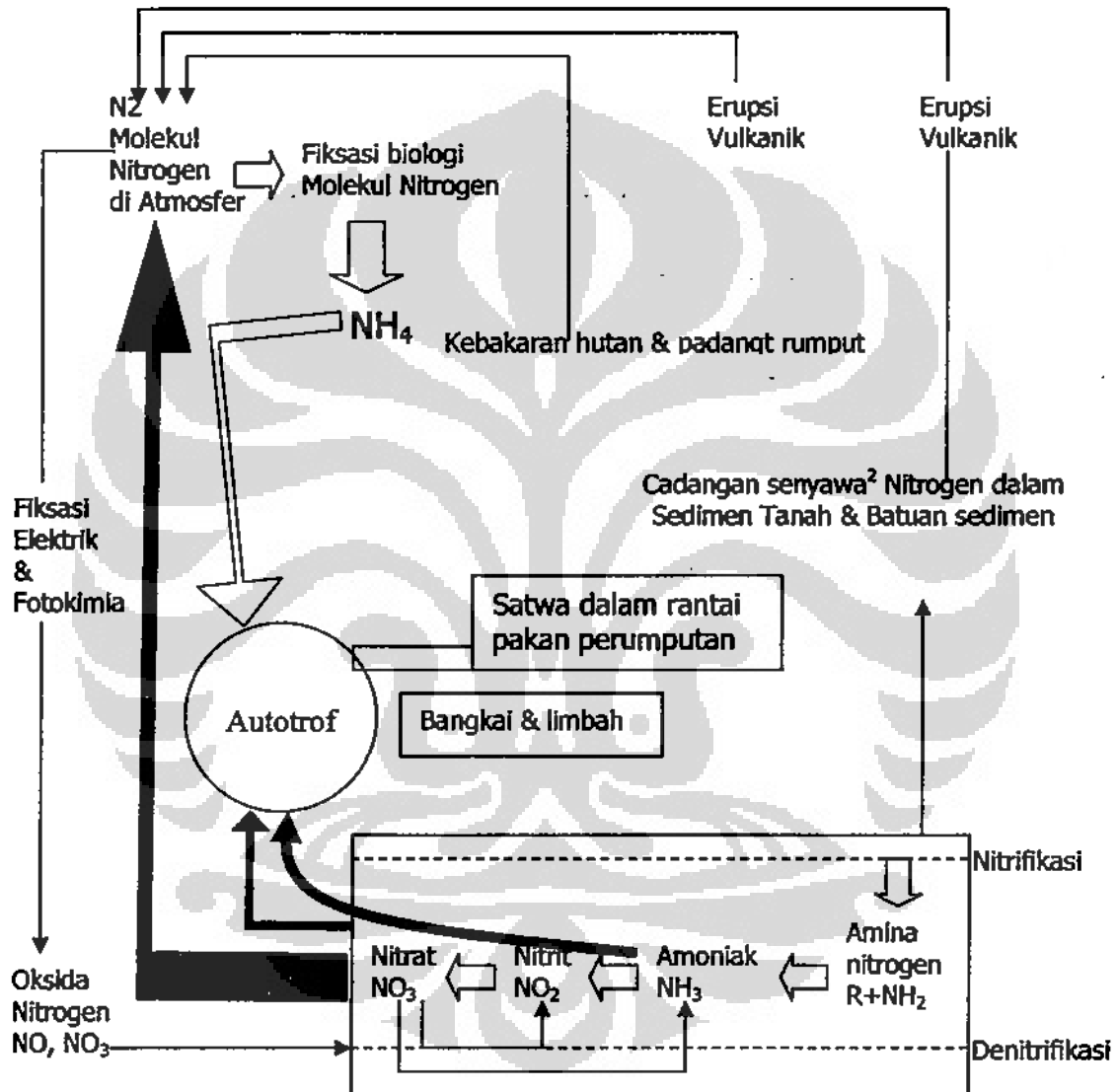
2.1.4. Nitrogen.

Nitrogen adalah komponen penting dari bahan-bahan pembentuk DNA. Nitrogen adalah komponen dasar asam amino yang merupakan elemen dasar dari protein dan mempunyai fungsi vital bagi tubuh organisme. Udara adalah *reservoir* nitrogen dan diperkirakan mengandung nitrogen (N_2) sebesar 79% (Ramdhany, 2002:122).

Sirkulasi nitrogen dan senyawa dalam alam yang terutama dilakukan melalui proses metabolisme organisme hidup. Karena sifat *inertnya*, nitrogen tidak langsung digunakan oleh sebagian besar organisme, tetapi dikonversikan dahulu menjadi suatu senyawa nitrogen tertentu untuk dapat masuk ke dalam siklus (dilakukan oleh bakteri atau ganggang). Senyawa nitrogen yang berguna dapat juga dihasilkan dari aktivitas gunung berapi. Dalam bentuk senyawa, nitrogen ikut dalam siklus melalui organisme dan masuk ke dalam sedimen.

Elektrifikasi di atmosfer melalui halilintar menjadi senyawa nitrogen organik (NO_3) dengan bantuan bakteri yang hidup di dalam tanah, udara, atau dalam nodul akar tumbuhan leguminosa. Aktivitas bakteri ini (seperti *Azotobacter* dan *Rhizobium*) memperkaya tanah dengan senyawa nitrogen.

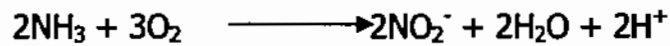
Ramdhany (2002: 123) mengilustrasikan siklus nitrogen seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus nitrogen (Ramdhany, 2002:123)

Daur ulang nitrogen terjadi melalui rantai pakan detritus oleh organisme detritus (*Nitrosomonas*) menjadi senyawa amino ($-NH_2$), kemudian terbebas lagi menjadi amoniak (NH_3) dan prosesnya disebut deaminisasi.

Oleh bakteri *Nitrosomonas* kemudian dioksidasi menjadi nitrit melalui reaksi sebagai berikut:



Proses di atas disebut nitrifikasi, yang menghasilkan nitrat sehingga memasuki rantai pakan melalui akar-akar tumbuhan vaskuler atau dinding-dinding sel tumbuhan non vaskuler, kemudian diikat menjadi molekul-molekul organik seperti asam amino, protein, asam nukleat, dan vitamin yang mengalir dalam rantai pakan tersebut.

Tidak semua nitrogen hasil nitrifikasi dapat dimanfaatkan tanaman, sebagian tercuci dari tanah oleh air perkolasi dan terbawa ke laut. Sebagian dikembalikan ke atmosfer dari tanah dan laut melalui proses denitrifikasi yang membebaskan nitrogen. Reaksi denitrifikasi adalah sebagai berikut:

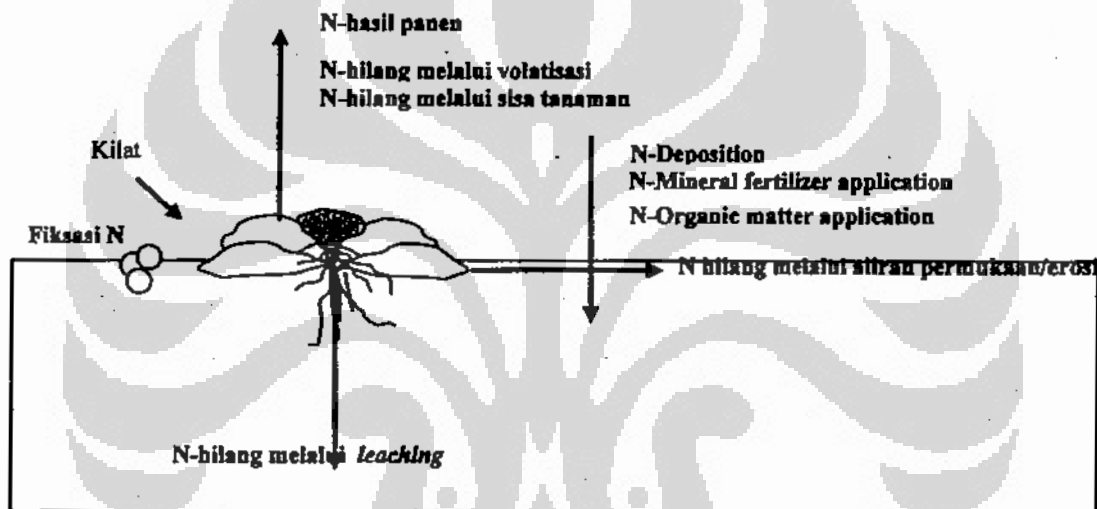


Tumbuhan akan menyerap N dalam bentuk ion NO_3^- - NH_4^+ . Oleh sebab itu dalam bentuk gas atau senyawa organik, harus terlebih dahulu diubah sehingga akan terurai menjadi bentuk kedua ion tersebut. Penyerapan oleh tumbuhan dalam bentuk ion atau fraksi N udara oleh mikroba.

Senyawa nitrogen dalam air laut, selain terdapat sebagai gas nitrogen yang larut, nitrogen juga didapatkan terikat pada senyawa-senyawa nitrogen anorganik dan organik yang larut dalam seluruh perairan bahari bumi. Senyawa-senyawa N-organik utama dalam air laut terdapat sebagai ion nitrat (dalam oseanografi ditulis: NO_3^- -N) dan amonia (NH_3 -N).

Status nitrogen tanah-tanah pertanian di Indonesia pada umumnya rendah dan penyediaan N dari tanah bergantung pada jumlah bahan organik tanah. Makin besar bahan organik tanah, makin banyak N yang dapat disediakan oleh tanah bagi tanaman. Kandungan N tanah yang rendah menghambat pertumbuhan tanaman, dan hampir semua tanaman respon pemberian pupuk N (Santoso & Sofyan, 2002: 74).

Secara umum siklus N pada budidaya pertanian dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Siklus nitrogen pada lahan pertanian (Setyorini *et al*, 2008).

Stevenson (1982: 93) memperkirakan bahwa 90% dari N pada lapisan permukaan tanah berbentuk organik. Untuk daerah tropis atau daerah hangat, unsur N terdapat dalam bentuk asam amino N. Keberadaan N dalam tanah tak lepas dari siklus N secara keseluruhan. Keberadaan N dalam tanah selain karena fiksasi N_2 dari udara oleh aktivitas mikroorganisme, juga karena aktivitas manusia, seperti penggunaan pupuk, *leachate* dari TPA, dan pembuangan limbah domestik (misal: tangki septik). Keberadaan nitrogen dalam tanah dapat berkurang karena pengambilan biomass tumbuhan (misalnya: panen sayur), volatilisasi ke udara dan peresapan (*leaching*) yang kemudian terbawa aliran air. Aktivitas mikroorganisme (denitrifikasi) juga mengurangi N dalam tanah

setelah mengubah NH_3 menjadi N_2O yang kemudian menguap bersama udara bebas. Proses ini terjadi pada kondisi anaerobik (tanah dengan *drainase* kurang baik), atau kondisi reduksi, dengan pH netral (7-7,5) dan cukup tersedia zat organik sebagai *substrat* mikroorganisme. Dalam kondisi cukup oksigen (oksidasi), amoniak dikonversikan menjadi nitrit, yang segera berubah menjadi nitrat. Zat organik akan terurai menjadi amoniak bila kondisi lingkungannya tanpa oksigen (kondisi reduksi).

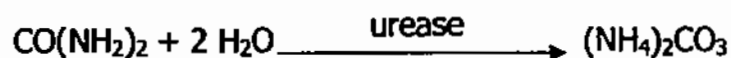
Tisdale *et al*, (1999 :86) menggambarkan siklus N dalam beberapa langkah. Di langkah 1. N di dalam sisa tanaman dan hewan dan N yang diperoleh dari atmosfer melalui proses listrik, pembakaran, dan industri (N_2 berkombinasi dengan H_2 atau O_2) ditambahkan ke tanah. Di langkah 2. N organik di dalam sisa demineralisasi menjadi NH_4^+ oleh mikroorganisme tanah. Akar tanaman mengabsorpsi sebagian dari NH_4^+ . Di langkah 3, banyak NH_4^+ dikonversi menjadi NO_3^- oleh bakteri nitrit di dalam proses yang disebut nitrifikasi. Di langkah 4, NO_3^- dan NH_4^+ diambil oleh akar tanaman dan digunakan untuk memproduksi protein di dalam tanaman yang dimakan oleh manusia atau ternak. Di dalam langkah 5, beberapa NO_3^- hilang ke air bawah tanah atau sistem drainase sebagai hasil pergerakan ke arah bawah melalui tanah dalam air perkolasi. Di dalam langkah 6, beberapa NO_3^- dikonversi oleh bakteri denitrit menjadi N_2 dan N oksida (N_2O dan NO) yang dilepaskan ke atmosfer, sebagai akhir dari siklus. Di dalam langkah 7, beberapa NH_4^+ dapat dikonversi menjadi NH_3 melalui sebuah proses yang disebut volatilisasi.

Selanjutnya Dugan (1972) dalam Mulyawan (2004: 128) mengemukakan bahwa meskipun nitrogen ditemukan berlimpah di lapisan atmosfer akan tetapi unsur ini tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh makhluk hidup. Nitrogen harus mengalami fiksasi terlebih dahulu menjadi NH_3 , NH_4 , dan NO_3 baru bisa dimanfaatkan oleh tumbuhan dan hewan.

Senyawa nitrogen ditemukan pada tumbuhan dan hewan sebagai penyusun protein dan khlorofil. Meskipun beberapa organisme akuatik dapat memanfaatkan nitrogen dalam bentuk gas, tetapi sumber utama nitrogen di perairan bukanlah dalam bentuk gas. Bakteri *Azotobacter* dan *Clostridium* serta beberapa jenis alga hijau-biru (*Blue-green algae/Cyanophyta*), seperti *Anabaena* dapat memanfaatkan gas N_2 secara langsung dari udara sebagai sumber nitrogen.

Sumber pupuk N yang paling umum digunakan di daerah tropika adalah urea dan amonium sulfat. Sumber pupuk N lain yang juga digunakan walaupun dalam jumlah yang lebih sedikit, seperti: amonium nitrat, anhidrus amonia, dan amonium fosfat (Sanchez, 1976: 194). Selanjutnya Soepardi (1983: 402) mengemukakan bahwa banyak jenis pupuk anorganik yang dapat digunakan, yaitu natrium nitrat, amonium sulfat, amonium nitrat, urea, kalsium siamida, amonia cair, amofos, dan diamonium fosfat. Kisaran kadar N dari berbagai berbagai pupuk N sangat lebar, dan bervariasi antara 3 persen yang terdapat dalam superfosfat yang diamoniakkan hingga 82 persen yang ada dalam pupuk amonia cair.

Urea adalah sumber pupuk N an-organik yang paling banyak digunakan dan mempunyai kandungan N tinggi (46%). Jika diaplikasikan ke tanah kering, urea dihidrolisis ke bentuk amonium karbonat oleh enzim urease, seperti yang diuraikan di bawah ini:



Amonium karbonat di dalam larutan tanah dipisahkan ke bentuk ion amonium dan karbonat. Sebelum dihidrolisis, urea mempunyai sifat *mobile* (mudah bergerak) sebagai nitrat dan dapat *leaching* (hilang) ke

bawah di bawah zona perakaran dengan adanya hujan deras jika struktur tanahnya memungkinkan.

Amonium nitrat adalah sumber pupuk N yang juga banyak digunakan dan jika diaplikasikan secara disebar di permukaan tanah tidak mudah hilang melalui volatisasi (penguapan), seperti halnya urea. Amonium melalui proses nitrifikasi akan diubah ke bentuk NO_3^- dan distribusi ke dua ion ini didalam tanah bergantung pada sifat dan kelembaban tanahnya (Sanchez, 1976: 194).

Soepardi (1983: 387) selanjutnya mengemukakan bahwa N-nitrat apakah berasal dari pupuk ataupun nitrifikasi dapat pergi ke empat arah, yaitu (1) digunakan oleh jasad mikro, dan (2) oleh tanaman, (3) hilang bersama air drainase, atau (4) hilang ke atmosfer dalam bentuk gas.

Nitrogen di perairan berupa nitrogen anorganik dan organik. Nitrogen anorganik terdiri dari amonia (NH_3), amonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3), dan molekul nitrogen (N_2) dalam bentuk gas. Nitrogen organik berupa: protein, asam amino, dan urea. Bentuk-bentuk nitrogen ini mengalami transformasi di perairan sebagai bagian dari siklus nitrogen (Mulyawan, 2004: 128).

Transformasi nitrogen bisa melibatkan dan tak melibatkan makro dan mikro biologi. Transformasi nitrogen mikrobiologis mencakup:

1. Asimilasi nitrogen anorganik (amonia dan nitrat) oleh tumbuhan dan mikroorganisme untuk membentuk nitrogen organik seperti asam amino dan protein. Proses ini di perairan terutama dilakukan oleh bakteri *autotrof* dan tumbuhan.

2. Fiksasi gas nitrogen menjadi amonia dan nitrogen organik oleh mikroorganisme. Fiksasi gas nitrogen secara langsung dapat dilakukan oleh beberapa jenis algae *Cyanophyta* (*Blue-green algae*) dan bakteri.
3. Nitrifikasi yaitu oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat. Proses oksidasi ini dilakukan oleh bakteri aerob. Nitrifikasi berjalan optimum pada pH 8, pada pH < 7 nitrifikasi berkurang secara nyata. Bakteri nitrifikasi bersifat mesofilik yang menyukai suhu 30 °C.
4. Amonifikasi nitrogen organik untuk menghasilkan amonia selama proses dekomposisi bahan organik. Proses ini banyak dilakukan oleh mikroba dan jamur. *Autolisis* (pecahnya) sel dan ekskresi amonia oleh *zooplankton* dan ikan juga berperan sebagai pemasok amonia.
5. Denitrifikasi yaitu reduksi nitrat menjadi nitrit (NO_2), dinitrogen oksida (N_2O) dan molekul nitrogen (N_2). Proses reduksi nitrat berjalan optimum pada kondisi anoksik (tak ada oksigen). Proses ini juga melibatkan bakteri dan jamur. Dinitrogen oksida adalah produk utama dari denitrifikasi pada perairan dengan kadar oksigen sangat rendah, sedangkan molekul nitrogen adalah produk utama dari proses denitrifikasi pada perairan dengan kondisi anaerob.

Transformasi nitrogen yang tidak melibatkan faktor biologi adalah volatilisasi, penyerapan, dan pengendapan (sedimentasi). Sumber utama nitrogen antropogenik di perairan berasal dari wilayah pertanian yang menggunakan secara intensif dan juga berasal dari kegiatan domestik. Bentuk-bentuk nitrogen yang terdapat pada perairan adalah:

1. Amonia

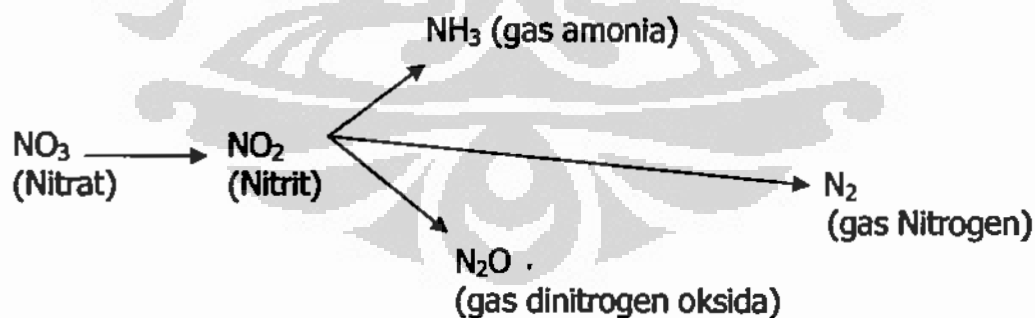
Amonia (NH_3) dan garam-garamnya bersifat mudah larut dalam air. Ion amonium adalah bentuk transisinya. Sumber amonia di perairan adalah

hasil pemecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik yang terdapat dalam tanah dan air, berasal dekomposisi bahan organik (tumbuhan dan biota akuatik yang telah mati) yang dilakukan oleh mikroba dan jamur dikenal dengan istilah amonifikasi seperti disajikan pada persamaan reaksi di bawah ini.



Amonia banyak dipakai pada proses produksi urea, produksi bahan kimia (asam nitrat, amonium fosfat, amonium nitrat, dan amonium sulfat), industri bubur kertas, dan kertas (*pulp* dan *paper*).

Reduksi nitrat (denitrifikasi) oleh aktivitas mikroba pada kondisi anaerob yang merupakan proses yang umum pada pengolahan limbah juga menghasilkan gas amonia dan gas-gas lainnya seperti: N_2O , NO_2 , NO , dan N_2 (Novotny dan Olem, 1994 *dalam* Mulyawan, 2004:130). Selanjutnya Boyd (1988) *dalam* Mulyawan (2004:130) mengemukakan proses denitrifikasi pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses denitrifikasi di perairan (Boyd, 1988 *dalam* Mulyawan, 2004: 130).

Tinja dari biota akuatik yang merupakan limbah aktivitas metabolisme juga banyak mengeluarkan amonia. Sumber lain amonia di perairan adalah reduksi gas nitrogen yang berasal dari proses difusi udara atmosfer, limbah industri, dan domestik.

Amonia pada suhu dan tekanan normal di perairan alami berada dalam bentuk gas dan membentuk keseimbangan dengan gas amonium. Selain terdapat dalam bentuk gas, amonium membentuk kompleks dengan beberapa ion logam. Amonia juga bisa terserap ke dalam bahan-bahan tersuspensi dan koloid sehingga mengendap di dasar perairan. Amonia di perairan hilang melalui volatilisasi, karena tekanan parsial amonia dalam larutan meningkat dengan semakin meningkatnya pH.

Pada pH 7 atau kurang, sebagian besar amonia akan mengalami ionisasi. Pada pH lebih dari 7 justru amonia tidak terionisasi yang bersifat toksik lebih banyak (Novotny dan Olem, 1994 *dalam* Mulyawan, 2004:130).

Sumber nitrogen yang dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan akuatik adalah nitrat (NO_3), amonium (NH_4), dan gas nitrogen (N_2). Urea adalah contoh pupuk yang mengandung amonium, berfungsi untuk menambahkan pasokan nitrogen ke dalam tanah yang dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan. Amonia jarang ditemukan pada perairan yang mendapat cukup pasokan oksigen. Pada wilayah anoksik, biasanya terjadinya di dasar perairan, kadar amonia relatif tinggi.

Amonia bebas (NH_3) yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap organisme akuatik. Toksisitas amonia terhadap organisme akuatik meningkat dengan penurunan kadar oksigen terlarut, pH, dan suhu.

Amonia yang terdapat pada mineral masuk ke badan air melalui erosi tanah. Avetebrata air lebih toleran daripada ikan terhadap toksisitas amonia. Ikan tidak dapat mentolerir amonia bebas dengan kadar yang terlalu tinggi, karena dapat mengganggu proses pengikatan oksigen oleh darah dan pada akhirnya dapat mengakibatkan sufokasi. Sufokasi adalah kematian yang disebabkan terganggunya oksigen dalam darah.

Kadar amonia yang tinggi dapat merupakan indikasi adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, industri, dan limpasan pupuk pada pertanian. Kadar amonia yang tinggi juga dapat ditemukan pada dasar danau yang mengalami kondisi tanpa oksigen (anoksik).

2. Nitrit

Nitrit (NO_2) biasanya ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit di perairan alami, kadarnya lebih kecil dari pada nitrat karena nitrit bersifat tidak stabil jika tanpa oksigen. Nitrit merupakan bentuk peralihan antara amonia dan nitrat pada proses nitrifikasi, dan antara nitrat dan gas nitrogen pada proses denitrifikasi. Denitrifikasi berlangsung pada kondisi anaerob seperti disajikan pada persamaan reaksi di bawah ini (Novotny dan Olem, 1994 *dalam* Mulyawan, 2004:130).



Gas N_2 yang dilepaskan pada proses denitrifikasi dapat terlepas dari dalam air menuju udara. Ion nitrit juga dapat dijadikan sebagai sumber nitrogen oleh tanaman air. Keberadaan nitrit menggambarkan berlangsungnya proses biologis perombakan bahan organik dengan kadar oksien terlarut sangat rendah. Kadar nitrit di perairan relatif kecil, karena segera dioksidasi menjadi nitrat.

Kadar nitrit di perairan alami sekitar 0,001 mg/l dan sebaiknya tidak melebihi 0,06 mg/l (Canadian Council of Resource and Environment Ministers, 1987 *dalam* Mulyawan, 2004:133). Sumber nitrit dapat dari limbah industri dan limbah domestik. Garam-garam nitrit digunakan sebagai penghambat terjadinya proses korosi pada industri. Nitrit bersifat lebih toksik daripada nitrat terhadap manusia dan hewan.

3. Nitrat.

Nitrat (NO_3) adalah bentuk nitrogen utama di perairan alami. Nitrat adalah hara utama untuk pertumbuhan tanaman dan algae. Nitrat nitrogen sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil, yang dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen perairan. Nitrifikasi adalah proses penting dalam siklus nitrogen, yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat. Nitrifikasi berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi amonia menjadi nitrit dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas*. Oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter* (Novotny dan Olem, 1994 *dalam* Mulyawan, 2004:133). Kedua jenis bakteri ini adalah bakteri kemotrofik, yaitu bakteri yang mendapatkan energi dari proses kimiawi.

Proses nitrifikasi sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter berikut: (Novotny dan Olem, 1994 *dalam* 2004:133).

- a. Pada kadar oksigen terlarut $< 2 \text{ mg/l}$, reaksi akan berjalan lambat.
- b. Nilai pH optimum untuk proses nitrifikasi adalah 8 dan 9. Pada pH < 6 reaksi akan berhenti.
- c. Bakteri yang melakukan nitrifikasi cenderung menempel pada sedimen dan bahan padatan lainnya.
- d. Kecepatan pertumbuhan bakteri nitrifikasi lebih lambat daripada bakteri heterotrof, sehingga apabila pada perairan banyak terdapat bahan organik, maka pertumbuhan bakteri heterotrof akan melebihi bakteri nitrifikasi.
- e. Suhu optimum untuk proses nitrifikasi adalah $20\text{-}25 \text{ }^\circ\text{C}$. Kecepatan nitrifikasi berkurang pada suhu kurang atau lebih dari kisaran tersebut.

Amonifikasi, nitrifikasi, dan denitrifikasi adalah proses mikrobiologis oleh karena itu proses ini sangat dipengaruhi oleh suhu dan aerasi. Nitrat yang merupakan sumber nitrogen untuk tumbuhan selanjutnya dikonversi menjadi protein.

Sebagian besar nitrogen yang terlibat pada proses biologi berasal dari atmosfer. Nitrogen dari atmosfer yang difiksasi oleh makhluk hidup berada dalam kesetimbangan dengan nitrogen yang dilepaskan oleh mikroba pada proses dekomposisi. Di atmosfer nitrogen terdapat dalam beberapa bentuk yaitu: nitrogen monoksida (NO) berasal dari proses biologi, dinitrogen oksida (N₂O) dan nitrogen dioksida (NO₂) berasal dari pembakaran bahan bakar fosil.

2.1.5. Pencemaran Nitrat

Nitrogen adalah unsur penting bagi tumbuhan maupun makhluk hidup, karena komponen selnya, dan seringkali disebut sebagai *nutrien* bagi tumbuhan. Nitrogen dalam jumlah sedikit dalam perairan terbuka sudah cukup untuk menunjang kehidupan tumbuhan seperti alga. Konsentrasi nitrat-N yang berlebihan akan mencemari lingkungan, dan jika terdapat di perairan terbuka dapat menjadi salah satu penyebab *eutrofikasi*, seperti misalnya estuary di Australia Barat (*Peel-Harvey Estuary*) yang menjadi *eutrofik*, karena mendapat N berlebihan yang antara lain dari sungai yang aliran dasarnya (*baseflow* dari air tanah) telah tercemar fosfor dan N dari tanah pertanian di hulunya (Notodarmodjo, 2005: 138).

Nitrat dan amonium adalah sumber nitrogen utama di perairan. Amonium lebih disukai oleh tumbuhan sebagai sumber nitrogen. Kadar nitrat di perairan yang tidak tercemar, biasanya lebih tinggi dari amonium. Kadar nitrat-nitrogen pada perairan alami umumnya jarang melebihi 0,1 mg/l.

Kadar nitrat yang melebihi 5 mg/l menggambarkan terjadinya pencemaran antropogenik yang berasal dari aktivitas manusia dan tinja hewan. Kadar nitrat-nitrogen melebihi 0,2 mg/l dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan yang selanjutnya menstimulir pertumbuhan algae dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*). Kadar nitrat pada air tanah dapat mencapai 100 mg/l. Air hujan memiliki kadar nitrat sekitar 0,2 mg/l. Pada perairan yang menerima limpasan air dan daerah pertanian yang banyak mengandung pupuk, kadar nitrat dapat mencapai 1.000 mg/l. Kadar nitrat untuk keperluan air minum sebaiknya tidak melebihi 10 mg/l (Davis dan Conwell, 1991 *dalam* Mulyawan, 2004:134).

Kontaminan N terdapat dalam bentuk N-nitrat dan yang termasuk dalam kategori bentuk mudah dipertukarkan adalah NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ . NO_3^- dan NO_2^- dalam kadar berlebih dapat mengganggu kesehatan manusia, seperti keracunan akut pada bayi. Unsur N sendiri dibutuhkan dalam jumlah tertentu sebagai *nutrien* bagi tanaman. Walaupun demikian, nitrat mempunyai dampak buruk bagi kesehatan manusia. Stándar maksimum kandungan N-nitrat dalam air minum adalah 10 mg/l (45 mg/l jika dinyatakan sebagai nitrat). Untuk anak kecil (balita), konsumsi yang melebihi stándar tersebut dapat menyebabkan apa yang disebut sebagai *blue baby (methemoglobinemia)*, yaitu terjadinya warna kebiru-biruan pada bayi karena kekurangan oksigen. Pada bayi, dengan kondisi cairan lambung tidak cukup asam, maka bakteri pereduksi nitrat dapat hidup dalam lambung. Jika bayi tersebut menelan atau meminum air mengandung nitrat, maka nitrat akan direduksi menjadi nitrit, dan diserap oleh darah, yang kemudian akan bereaksi dengan *hemoglobin*, sehingga membentuk *methemoglobin*. *Methemoglobin* tidak berfungsi sebagai pembawa oksigen dalam aliran darah, sebagaimana hemoglobin. Akibatnya bayi tersebut akan mengalami kekurangan oksigen dalam

darahnya. Selain itu, kandungan nitrat yang tinggi juga mempunyai peran penting dalam pembentukan senyawa *nitrosamine*, yang diketahui dapat menyebabkan penyakit kanker (Bouwer, 1978 dalam Notodarmodjo, 2005: 139).

Pada daerah dimana pupuk N secara luas digunakan, sumur-sumur perumahan yang ada di sana hampir pasti tercemar oleh nitrat. Pada daerah pertanian, pupuk N adalah sumber utama pencemaran pada air bawah tanah yang digunakan sebagai air minum. Sebuah penelitian oleh United States Geological Survey memperlihatkan bahwa lebih besar dari 8200 sumur di seluruh AS terkontaminasi oleh nitrat melebihi standar air minum yang telah ditetapkan oleh Environmental Protection Agency (EPA), yaitu 10 ppm. Sumber nitrat lainnya pada air sumur adalah pencemaran dari sampah organik hewan dan rembesan dari tangki septik (Thompson, 2004 dalam Utama, 2007: 10).

Percobaan lapang jangka panjang (1982-2004) yang telah dilakukan oleh Yang *et al* (2006: 91) memperlihatkan bahwa aplikasi tahunan pupuk N dan pupuk organik selama 23 tahun berurutan telah memberi pengaruh nyata pada akumulasi nitrat pada kedalaman 0-210 cm profil tanah. Akumulasi nitrat di dalam lapisan lebih dalam tanah oleh aplikasi nitrat dan pupuk organik dipercaya sebagai sebuah bahaya potensial, karena mencemari lingkungan tanah dan air tanah.

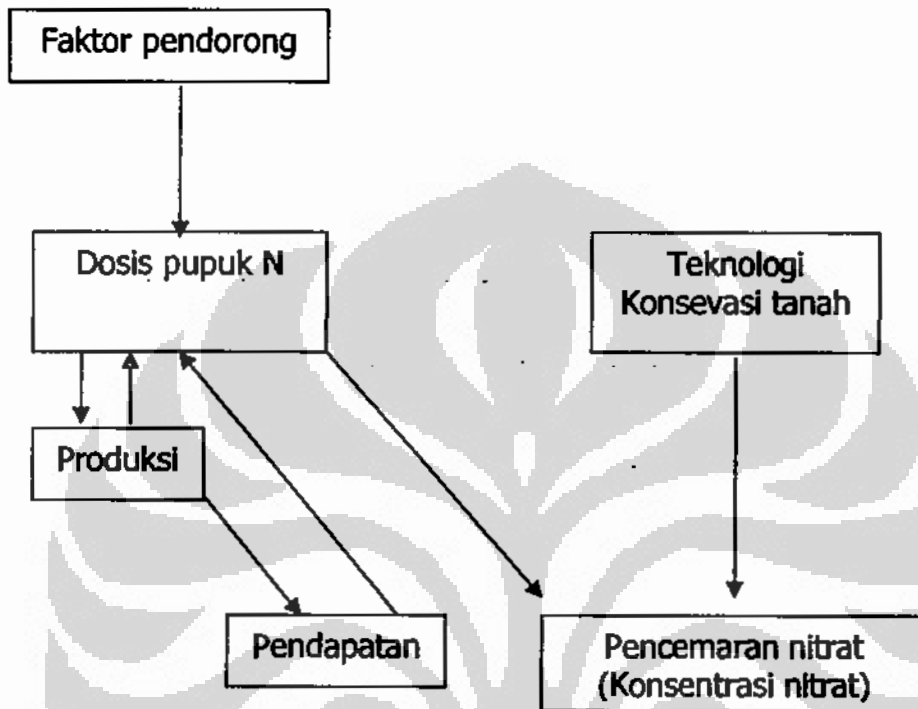
Yuningsih (2007: 155) mengemukakan bahwa keracunan nitrat pada ternak disebabkan mengkonsumsi hijauan yang mengandung nitrat tinggi (melebihi ambang batas). Kandungan nitrat yang tinggi dalam hijauan disebabkan terjadinya akumulasi nitrat sebagai efek pemupukan, terutama pupuk N.

2.2. Kerangka Berpikir

Kesuburan tanah yang terus menurun pada lahan kering dataran tinggi, tingginya permintaan akan sayuran, dan produktivitas tanaman yang rendah, serta faktor-faktor lain mendorong petani sayuran untuk menerapkan pemupukan dengan dosis yang tinggi. Pemakaian pupuk N dosis tinggi diharapkan mampu meningkatkan produksi, tetapi belum tentu mampu meningkatkan pendapatan petani. Pemakaian pupuk N secara berlebihan selain pemborosan, juga tidak menguntungkan bagi kelestarian lahan dan lingkungan. Pemupukan N yang berlebihan akan menyebabkan makin tingginya jumlah N-nitrat yang hilang, baik melalui *leaching* maupun aliran permukaan. Penerapan teknik konservasi tanah yang tidak tepat dapat meningkatkan jumlah N-nitrat yang hilang melalui aliran permukaan. Residu pupuk N berupa nitrat dapat mencemari sumber daya air, baik air sungai, maupun air tanah, bahkan tanah ataupun produk pertanian. Konsentrasi nitrat yang tinggi melebihi batas baku mutu pada air yang dikonsumsi maupun produk pertanian dapat mempengaruhi kesehatan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Oleh karena itu penerapan teknologi pemupukan dan teknologi pengelolaan lahan yang tepat dalam budi daya tanaman sayuran dataran tinggi harus dilakukan dengan meminimalkan pencemaran yang ditimbulkan tanpa mengurangi pendapatan petani.

2.3. Kerangka Konsep

Secara skematik kerangka konsep penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Kerangka konsep penelitian.

2.4. Hipotesis

Hipotesis yang dari penelitian ini adalah

- a. Tidak terdapat pengaruh dosis pemupukan N pada konsentrasi nitrat air sungai di lokasi yang diamati
- b. Tidak ada hubungan antara dosis pupuk N dengan produksi sayuran

3. METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif dengan format deskriptif *ex post facto* mengenai dampak tingginya pemupukan N pada budi daya sayuran di Sub Das Sungai Klakah, DAS Serayu, Kecamatan Kejajar Kabupaten Wonosobo. Menurut Bungin (2008), penelitian kuantitatif dengan format deskriptif bertujuan untuk menjelaskan, meringkaskan berbagai kondisi, berbagai situasi, atau berbagai variabel yang timbul di masyarakat yang menjadi obyek penelitian itu berdasarkan apa yang terjadi. Kemudian mengangkat ke permukaan karakter atau gambaran tentang kondisi, situasi, ataupun variabel tersebut. Penelitian deskriptif *ex post facto* adalah penyelidikan yang diadakan untuk memperoleh fakta-fakta dari gejala-gejala yang telah terjadi dan mencari keterangan-keterangan secara faktual dari suatu kelompok ataupun suatu daerah yang telah terjadi, sehingga variabel bebasnya sudah tidak dapat dimanipulasi lagi (Bungin, 2008: 26; Nazir, 1983: 52).

Penelitian diawali dengan menentukan lokasi penelitian dengan cara menarik garis dari puncak lereng dari masing-masing kontur, sehingga akan didapat suatu wilayah dari daerah aliran sungai, yang air larian dari wilayah tersebut masuk ke aliran sungai yang akan diamati. Nitrat dari pupuk yang terbawa oleh aliran permukaan dan *leaching* masuk ke dalam sungai yang di amati. Pelingkupan lokasi penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software Arc GIS*. Penentuan garis batas lokasi penelitian dilakukan dengan menggunakan peta topografi skala 1:10.000. Kemudian berdasarkan tinggi lokasinya, daerah aliran sungai tersebut dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian sebelah atas dengan tinggi lokasi lebih dari 1.450 m, bagian tengah dengan tinggi lokasi 1.350-1.450 m, dan bagian bawah

dengan tinggi lokasi kurang dari 1.350 m. Hasil pelingkupan digunakan untuk menentukan cakupan daerah penelitian dan titik pengamatan pada contoh air dan contoh petani.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

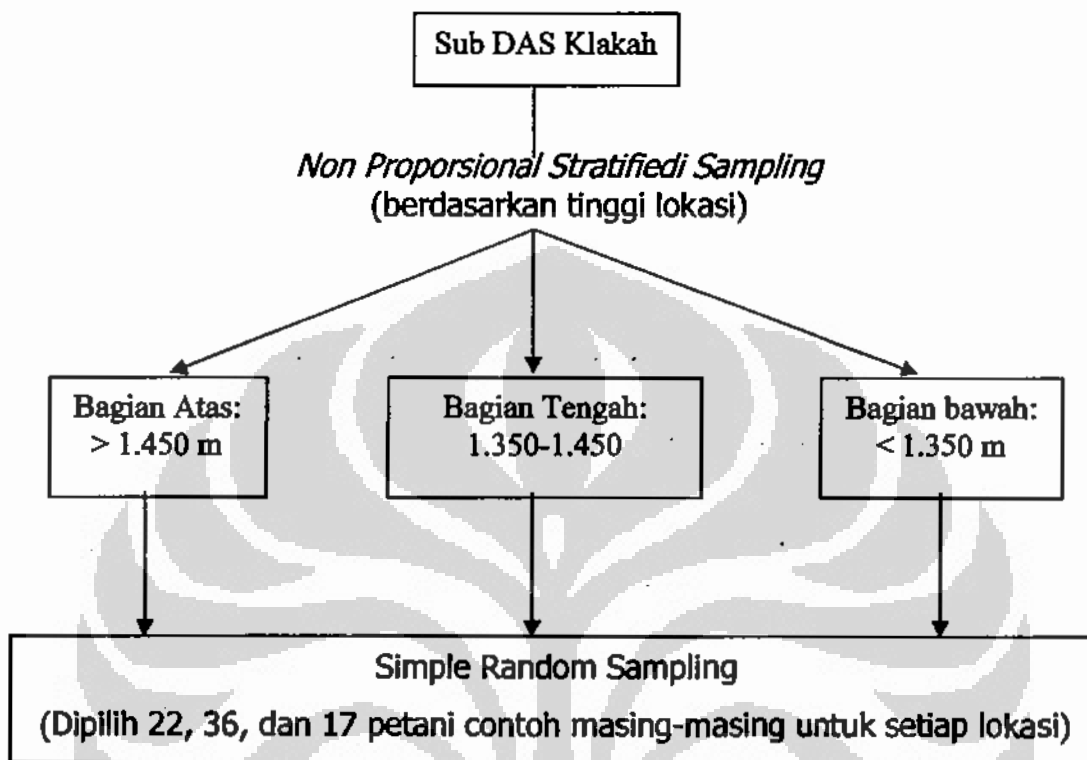
Penelitian lapang dilaksanakan pada areal sayuran di sub DAS sungai Klakah, yang merupakan bagian DAS Serayu di Kecamatan Wonosobo, mulai bulan Juli 2008–Januari 2009. Penelitian dilaksanakan pada areal sayuran dimana petani mengaplikasikan pupuk N dengan dosis tinggi, yaitu dosis yang lebih tinggi dari dosis rekomendasi.

3.3. Populasi dan Populasi Contoh Penelitian

Materi penelitian terdiri atas 2 kelompok populasi, yaitu petani, dan air. Populasi contoh adalah populasi target yang akan ditetapkan sebagai sumber data penelitian adalah petani yang melaksanakan budidaya tanaman sayuran, dan air sungai yang berada pada areal pertanian yang diamati.

Contoh petani ditetapkan dengan menggunakan metode *non proporsional stratified sampling*, dengan membagi petani dalam 3 kelompok populasi yaitu populasi petani yang lahannya berada pada tinggi lokasi lebih dari 1.450 m, 1.45-1.350 m, dan kurang dari 1.350 m. Kemudian dari masing-masing kelompok populasi petani tersebut dipilih sejumlah petani contoh dengan menggunakan metode random sederhana (*simple random sampling*), yaitu petani contoh dipilih dengan cara diacak. Pemilihan acak dilakukan dengan cara memberikan suatu nomor yang berbeda kepada setiap anggota populasi, kemudian memilih petani contoh dengan menggunakan angka-angka random.

Langkah-langkah pemilihan contoh petani secara skematik adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Skema teknis penetapan petani contoh pada wilayah studi.

Populasi petani yang terdapat pada wilayah studi adalah 107 petani, yang terdiri atas 37 petani pada tinggi lokasi lebih dari 1.450 m, 46 petani pada tinggi lokasi 1.350-1.450 m, dan 24 petani pada tinggi lokasi kurang dari 1.350 m. Sehingga ditetapkan 75 petani contoh yang terdiri dari 22 petani contoh pada tinggi lokasi lebih dari 1.450 m, 36 petani contoh pada tinggi lokasi 1.350-1.450 m, dan 17 petani pada tinggi lokasi kurang dari 1.350 m. Jumlah petani contoh pada lokasi penelitian yang telah dipilih ditetapkan berdasarkan rumus yang dikemukakan oleh Bungin (2008: 135) dan Sarwono (2006: 120), yaitu:

$$n = N \div (N \times d^2 + 1)$$

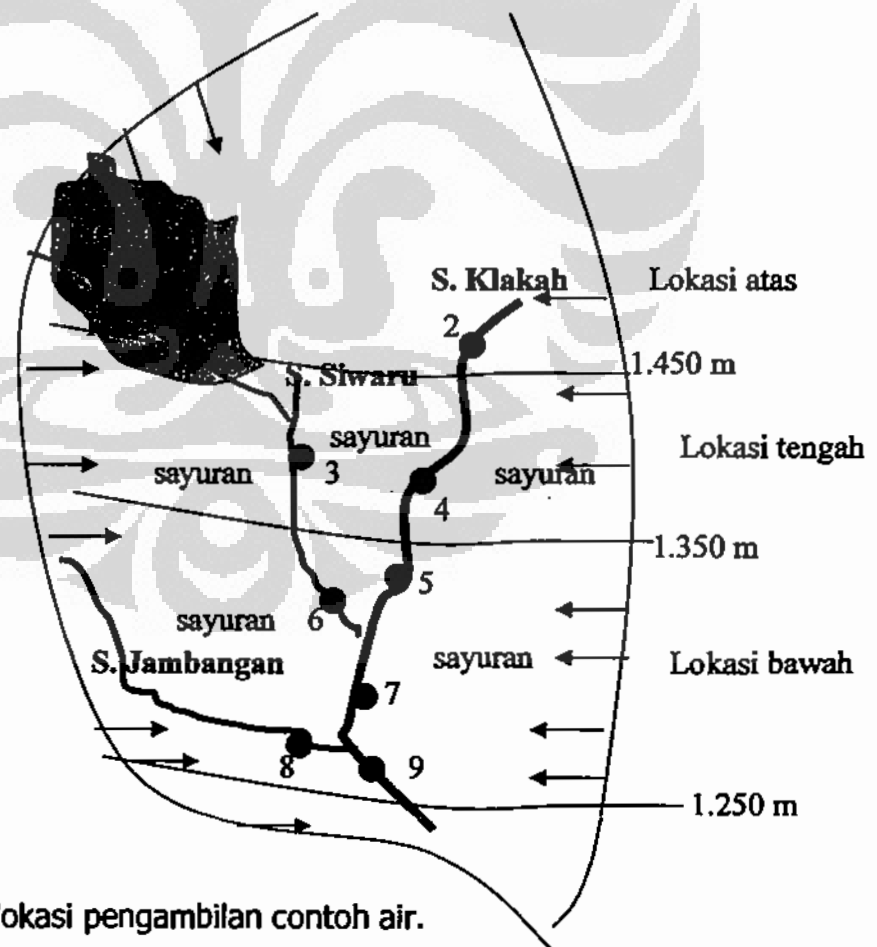
Keterangan:

n: Jumlah petani contoh yang dicari

N: Jumlah populasi petani

d: Nilai presisi 10%

Contoh air diambil dari sungai-sungai yang terdapat pada sub DAS Klakah, pada sungai bagian atas yaitu tinggi lokasi lebih dari 1.450 m, bagian tengah yaitu 1.350-1.450 m, dan bagian bawah yaitu kurang dari 1.350 m. Sebagai pembandingan, diambil contoh air dari sungai bagian atas (hulu) di mana lahan tidak ditanami sayuran, tetapi ditanami tanaman teh. Dosis pemupukan urea untuk tanaman teh adalah 250 kg/ha. Jumlah contoh air yang diambil adalah 3 contoh untuk setiap titik pengamatan pada setiap anak sungai yang mengalir ke sungai utama (S. Klakah) (Gambar 6).



Gambar 6. Denah lokasi pengambilan contoh air.

Lokasi titik pengamatan ditetapkan pada setiap pertemuan antara anak sungai dengan sungai utama, sehingga terdapat 9 titik pengamatan yaitu 1 titik pada bagian hulu, 1 titik pada bagian atas (S. Klakah), 2 titik pada bagian tengah (S. Siwaru dan S. Klakah), dan 5 titik pada bagian bawah (S. Siwaru 1 titik, S. Klakah 3 titik, dan S. Jambangan 1 titik). Waktu pengambilan contoh sebanyak 2 kali pada musim kemarau dan musim hujan. Pada penelitian ini dikumpulkan sebanyak 54 contoh air sungai. Pada setiap titik pengambilan contoh air, juga diukur debit airnya dengan cara mengukur panjang, lebar, dan dalam sungai, serta kecepatan arus sungai. Contoh air selanjutnya dikirim ke laboratorium untuk dianalisis kandungan nitratnya.

3.4. Konsep Operasional Variabel Penelitian

Variabel yang diteliti adalah variabel bebas dan variabel terikat yaitu:

1. Variabel bebas

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah variabel yang diasumsikan menimbulkan dampak positif maupun negatif pada lingkungan, yaitu dosis pemupukan dan teknologi konservasi tanah yang diterapkan petani, serta faktor pendorong petani memupuk N dengan dosis tinggi.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat berupa komponen lingkungan yang diperkirakan terkena dampak positif maupun negatif akibat pemupukan N dosis tinggi.

Variabel terikat terdiri atas 4 kelompok, yaitu:

a. Produksi

Pengamatan pada produksi dilakukan untuk mengetahui respon tanaman sayuran pada pemupukan N dosis tinggi. Produksi sayuran adalah berat hasil panen sayuran per hektar.

b. Pendapatan usahatani

Pengamatan pada pendapatan usahatani sayuran dilakukan untuk mengetahui dampak pemupukan N dosis tinggi pada keuntungan yang didapat petani.

Menurut Soekartiwi *et al* (1986), salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengamati pendapatan usahatani adalah perhitungan nisbah keuntungan dan biaya atau *benefit cost ratio* (BCR). Nisbah BCR tersebut merupakan efisiensi usahatani secara mikro, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi usahatani sayuran pada petani yang mengaplikasikan pupuk N dosis tinggi. BCR lebih besar dari 0 menunjukkan bahwa usahatani tersebut menguntungkan.

Untuk menghitung nilai BCR atau nisbah keuntungan dan biaya usahatani sayuran yang diamati, digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nisbah keuntungan dan biaya (BCR)} = \frac{\text{nilai produksi} - \text{biaya produksi}}{\text{biaya produksi}}$$

c. Pencemaran nitrat dalam air sungai.

Pencemaran nitrat dalam air adalah jumlah dan konsentrasi nitrat yang terdapat pada air sungai (ppm). Air dikategorikan telah tercemar jika konsentrasi nitratnya melebihi ambang batas yang diperkenan. Batas normal kadar nitrat pada air minum menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 tanggal 5 Juni 1990 tentang kriteria Kualitas Air golongan A dan

Keputusan Menteri Kesehatan No. 907/MENKES/SK/VII/2002 tanggal 20 Juli 2002 tentang Persyaratan kualitas air minum adalah sebesar 45 mg/l nitrat-NO₃ atau 10 mg nitrat-N/l (Notodarmodjo, 2005). Pengamatan konsentrasi nitrat di dalam air dilaksanakan pada air sungai, dengan menganalisis contoh air sungai di laboratorium menggunakan metode Spektrofotometer. Selain itu juga diukur debit air sungai dengan metode pelampung *Floating methode with stopwatch*, yaitu dengan cara mengukur dalam, panjang, dan lebar sungai di setiap titik pengamatan serta waktu, sehingga dapat dihitung jumlah nitrat yang terbawa air per satuan waktu.

$$\text{Debit sungai} = \frac{\text{volume air}}{\text{waktu}} \dots\dots (\text{liter/detik});$$

$$\text{Jumlah nitrat terbawa (loaded)} = \text{debit sungai} \times \text{konsentrasi nitrat (mg/detik)}$$

Definisi operasional dan satuan variabel penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks variabel penelitian.

Variabel	Definisi operasional	Satuan
Faktor pendorong	Alasan petani memupuk N dosis tinggi	
Dosis pemupukan N	Jumlah pupuk N yang diaplikasikan petani per hektar	kg per ha
Produksi	Berat produksi sayuran per hektar	t per ha
Pendapatan usahatani	Rasio penerimaan dengan biaya produksi	
Pencemaran nitrat	Konsentrasi dan jumlah nitrat dalam air sungai	ppm, mg per detik
Teknologi konservasi tanah	Teknologi konservasi tanah yang diterapkan oleh petani	

3.5. Data Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder disajikan pada Tabel 2. Perincian dari masing-masing data tersebut adalah:

1. Data primer:
 - a. Faktor pendorong pemupukan N dosis tinggi.
 - b. Teknologi pemupukan.
 - c. Produksi sayuran.
 - d. Pendapatan usahatani.
 - e. Pencemaran nitrat dalam air sungai.
 - f. Teknologi pengelolaan lahan.
 - g. Intensitas penyuluhan.
 - h. Sejarah penggunaan lahan.
 - i. Luas wilayah studi.
 - j. Kemiringan lereng.
 - k. Karakteristik petani (distribusi umur, pendidikan, dan luas pemilikan lahan).

Tabel 2. Jenis, metode, dan sumber data.

No.	Data	Jenis	Metode Pengumpulan	Sumber Data
1.	Faktor pendorong	Primer	Wawancara	Petani contoh
2.	Teknologi pemupukan	Primer	Wawancara	Petani contoh
3.	Produksi sayuran	Primer	Wawancara	Petani contoh
4.	Pendapatan usahatani	Primer	Wawancara	Petani contoh
5.	Pencemaran nitrat	Primer	Pengukuran	Analisis laboratorium
6.	Teknologi pengelolaan lahan	Primer	Wawancara dan pengamatan lapang	Petani contoh
7.	Intensitas penyuluhan	Primer	Wawancara	Petani contoh Dinas Pertanian
8.	Luas wilayah studi	Primer	Analisis peta	Peta Topografi Bakosurtanal

Lanjutan Tabel 2.

9.	Kemiringan lereng	Primer	Analisis peta	Peta Topografi Bakosurtanal
10.	Karakteristik petani	Primer	Wawancara	Petani contoh
11.	Luas administratif	Sekunder	Dokumenter	BPS 2007
12.	Jumlah penduduk	Sekunder	Dokumenter	BPS 2007
13.	Penggunaan lahan	Primer	Wawancara	Petani contoh
		Sekunder	Dokumenter	BPS 2007
14.	Luas tanam dan luas panen	Sekunder	Dokumenter	BPS 2007
15.	Curah hujan	Sekunder	Dokumenter	N-Balance Project- Baittanah
16.	Karakteristik Tanah	Sekunder	Dokumenter	Peta Tanah- Balittanah

2. Data sekunder:

- a. Luas administrasi desa.
- b. Jumlah penduduk.
- c. Jenis penggunaan lahan.
- d. Luas tanam dan luas panen
- e. Curah hujan
- f. Karakteristik tanah

Data primer dikumpulkan dengan cara: a) observasi lapang, b) analisa laboratorium, c) wawancara mendalam dengan kuesioner terstruktur, dan d) analisis peta topografi.

Data sekunder dikumpulkan dari berbagai instansi terkait: Badan Pusat Statistik, Dinas Pertanian Tanaman Pangan, Balai Penelitian Tanah (Balittanah), dan Badan Koordinasi Survei Nasional (Bakosurtanal).

3.6. Pengolahan dan Analisis Data

Analisis yang digunakan untuk menjawab penelitian disajikan pada Tabel 3. Untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan petani memupuk N dengan dosis tinggi dilakukan analisis distribusi persen (Sarwono, 2006).

Tabel 3. Analisis yang digunakan untuk menjawab tujuan penelitian.

No.	Tujuan Penelitian	Metode analisis
1.	Mengidentifikasi faktor yang menyebabkan penggunaan pupuk N berlebihan	Analisis statistik deskriptif (distribusi persen)
2.	Mengetahui dosis pemupukan N	Analisis statistik diskriptif (distribusi rata-rata dan persen)
3.	Mengetahui dampak pemupukan N dosis tinggi pada produksi dan pendapatan usahatani.	Analisis usahatani (BCR) dan korelasi
4.	Mengetahui dampak pemupukan N dosis tinggi pada kualitas air	Analisis komparasi baku mutu, ANOVA, DMRT
5.	Mengidentifikasi teknologi konservasi tanah	Analisis statistik deskriptif (distribusi persen)

Untuk mengetahui dosis pupuk N yang diterapkan petani dilakukan analisis distribusi rata-rata. Untuk mengetahui dampak pemupukan N pada produksi dan pendapatan usahatani sayuran dilakukan analisis ekonomi dengan BCR. BCR merupakan pembagian antara keuntungan bersih dengan biaya yang dikeluarkan. Nilai BCR menunjukkan usahatani tersebut menguntungkan.

Untuk mengetahui dampak pemupukan N pada kualitas air dilakukan dengan membandingkan nilai rata-rata konsentrasi nitrat dalam air dengan baku mutunya dan untuk mengetahui pengaruh pemupukan pada konsentrasi nitrat dilakukan dengan *analysis of Variance* (ANOVA), yang dilanjutkan dengan uji beda nyata *Duncan Multiple Range Test* (DMRT)

pada selang kepercayaan 5% untuk mengetahui perbedaan rata-rata konsentrasi nitrat.

Untuk mengidentifikasi teknologi konservasi tanah yang dilakukan oleh petani dilakukan analisis distribusi persen dan analisis komparasi dengan teknologi konservasi tanah yang direkomendasikan.



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Wilayah Studi

4.1.1. Lokasi dan Penggunaan Lahan

DAS Klakah adalah suatu wilayah daerah aliran sungai, bagian dari DAS Serayu terletak di kecamatan Kejajar, meliputi dua desa yaitu desa Buntu, dan desa Tambi. Luas areal administratif dua desa ini adalah 745,70 ha, pada tinggi 1.250 hingga 1.750 m di atas permukaan laut. Hasil pelingkupan luas areal Sub DAS Klakah adalah 432 ha. Wilayah studi berjarak \pm 20 km dari kota Wonosobo dan dapat ditempuh \pm 45 menit dengan kendaraan bermotor. Sungai Klakah merupakan sungai utama dalam DAS Klakah dengan anak sungainya yaitu sungai Siwaru dan sungai Jambangan. Sungai Klakah bermuara ke sungai Serayu (Peta 1).

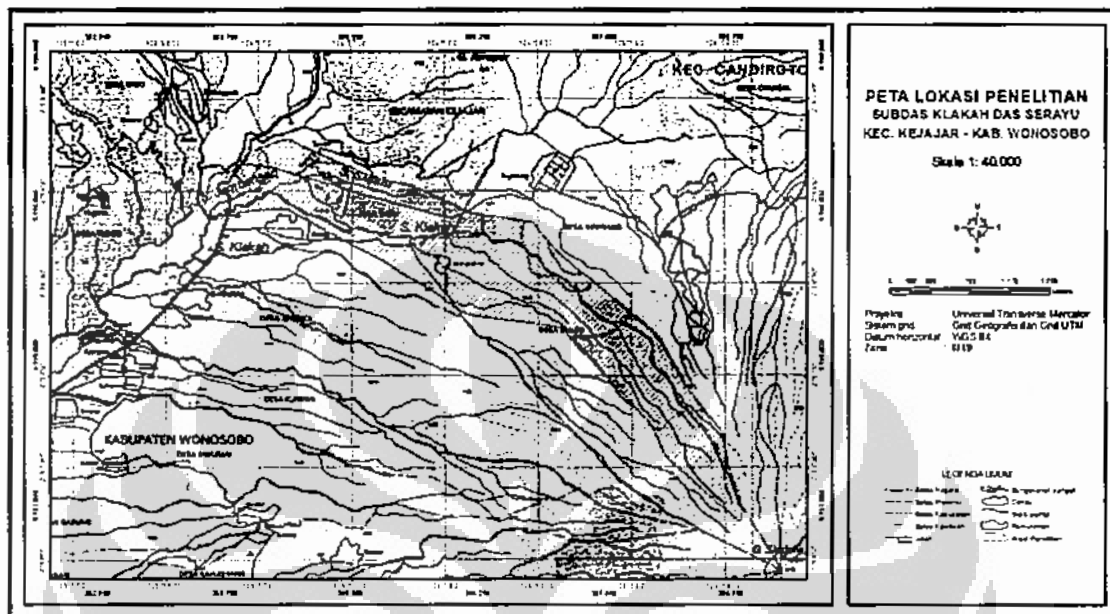
Tabel 4. Jenis penggunaan lahan di desa Buntu dan Tambi kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Tahun 2007.

Uraian	Desa		Jumlah	%
	Buntu	Tambi		
Luas (ha)	334,00	411,70	745,70	100
Jenis Penggunaan lahan				
a. Pekarangan (ha)	12,04	15,75	27,79	3,73
b. Tegalan (ha)	284,81	198,43	483,25	64,80
c. Kolam (ha)	0,15	0,82	0,97	0,13
d. Perkebunan (ha)	0,00	67,95	67,95	9,11
e. Hutan negara (ha)	35,00	123,75	158,75	21,29
f. Lainnya (ha)	2,00	5,00	7,00	0,94

Sumber data: Badan Pusat Statistik Kabupaten Wonosobo (2007).

Penggunaan lahan di dua desa tersebut sebagian besar digunakan untuk tegalan (64,80%), kemudian berturut-turut hutan negara (21,29%), perkebunan (9,11%), pekarangan (3,73%), lainnya (0,94%), dan kolam (0,13%) (Tabel 4). Lahan tegalan umumnya ditanami sayuran dan

palawija, sedangkan lahan perkebunan merupakan areal yang ditanami teh milik PT. Tambi dan kopi milik petani.



Peta 1. Peta Lokasi penelitian dampak pemupukan nitrogen pada budi daya sayuran dataran tinggi.

Luas pertanaman dari empat komoditas utama yang ditanam petani di Buntu dan Tambi disajikan pada Tabel 5. Tanaman kubis menempati areal tanam terluas yaitu 409 ha, kemudian dilanjutkan tanaman kentang, tembakau, dan jagung masing-masing seluas 177, 169, dan 119 ha.

Hasil wawancara dengan petani responden dikemukakan bahwa hingga tahun 1978-an wilayah studi pada mulanya sebagian besar areal berupa hutan (lebih besar dari 90%) sedangkan petani menanam palawija dan sayuran pada lahan pekarangan atau sekitar rumah. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya kebutuhan hidup keluarga, maka mulai tahun 1978-an penduduk mulai membuka lahan hutan tersebut untuk ditanami palawija dan sayuran. Tanaman yang dominan ditanam adalah kentang lokal (kentang hitam), jagung, padi ladang, dan sayuran untuk kebutuhan sehari-hari (*lombok*). Perubahan

penggunaan secara nyata terjadi pada tahun 1980-an ketika tanaman kentang mulai ditanam oleh petani. Petani mendapat bibit kentang dari petani asal desa Tieng. Pada tahun 1990-an sampai dengan sekarang, tanaman kentang menjadi salah satu tanaman utama dalam usahatani sayuran.

Tabel 5. Luas dan Produksi Tanaman Semusim (kubis, kentang, tembakau, dan jagung) di desa Tambi dan Buntu, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Tahun 2007.

Komoditas	Luas tanam/ luas panen	Desa		Jumlah
		Buntu	Tambi	
1. Kubis	Luas tanam (ha)	167	242	409
	Luas panen (ha)	166	240	406
2. Kentang	Luas tanam (ha)	92	85	177
	Luas panen (ha)	89	82	171
3. Tembakau	Luas tanam (ha)	85	84	169
	Luas panen (ha)	41	33	74
4. Jagung	Luas tanam (ha)	74	45	119
	Luas panen (ha)	47	32	79

Sumber data: Badan Pusat Statistik Kabupaten Wonosobo (2007).

Pada tahun 1998 petani diperkenankan untuk menggarap areal hutan milik Perhutani dengan sistem tumpang sari antara tanaman semusim dengan tanaman tahunan (*Albacia sp* dan *Pinus sp*). Pada areal hutan ini petani berkewajiban untuk menanam dan memelihara Pinus dan Acasia, tetapi ternyata program ini tidak berhasil. Areal hutan tetap gundul karena petani lebih mementingkan tanaman semusimnya. Pada tahun 2005, ijin menggarap areal hutan dicabut dan jika petani menggarap lahan untuk berusahatani di areal tersebut akan dikenakan sanksi hukum. Hal ini

sesuai dengan yang dikemukakan oleh Sulistyowati (2004: 89) bahwa perambahan hutan lindung di wilayah Dieng Kecamatan Kejajar berlangsung sejak tahun 1999 dengan alasan mengikuti arus reformasi. Masa reformasi membangkitkan keberanian penduduk untuk meminta kembali tanah desanya, yang pada jaman Belanda ditetapkan menjadi kawasan hutan lindung.

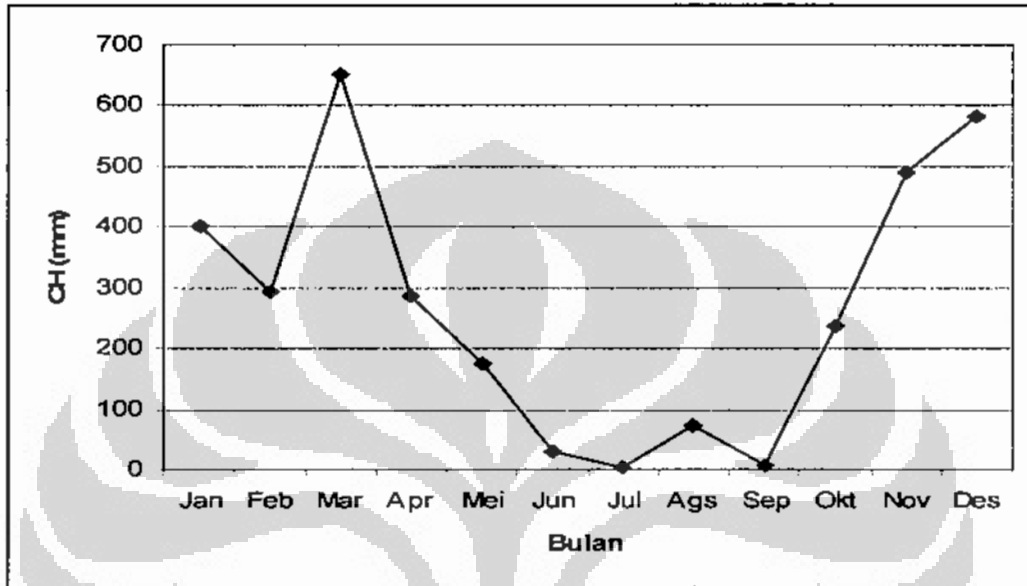
Rencana Tata Ruang Daerah (RUTRD) Kabupaten Wonosobo Tahun 2008-2027 menetapkan kawasan lindung di Kabupaten Wonosobo terdiri atas kawasan lindung, suaka alam/cagar budaya, dan rawan bencana (Peta 2).

Kawasan hutan lindung di Sub DAS Klakah meliputi areal seluas 211 ha atau 48% dari 432 ha luasan total Sub DAS Klakah. Seluas 83 ha (20%) dari luas wilayah studi adalah kawasan hutan lindung yang digarap oleh petani sebagai areal lahan tanaman semusim. Hal ini dimulai pada masa reformasi, ketika petani diijinkan oleh Perhutani untuk menggarap areal hutan lindung dengan sistem tumpangsari antara tanaman hutan dengan tanaman sayuran. Selain itu juga terdapat areal kawasan hutan lindung yang dimiliki oleh petani. Walaupun izin tersebut sudah dicabut, tetapi akibat pengawasan dan sanksi yang lemah, serta ketidak mampuan pemerintah untuk mengganti atau mengkompensasi hasil kentang yang seharusnya petani dapat dari lahan miliknya tersebut.

Penggarapan lahan pada areal hutan lindung dengan tanaman semusim berpotensi meningkatkan erosi tanah dan akan meningkatkan konsentrasi nitrat pada air sungai, sehingga akan berdampak pada pencemaran nitrat air sungai.

Upaya yang harus dilakukan adalah memberi penyuluhan kepada petani akan pentingnya kawasan lindung dan memberi bantuan kepada petani untuk menanam tanaman tahunan yang disukai petani seperti Albasia dan

sungai. Distribusi hujan dengan bulan kering seperti ini memungkinkan petani melaksanakan tanaman dengan indeks pertanaman 300 (3 kali pertanaman dalam satu tahun).



Gambar 7. Curah hujan selama satu tahun dari Januari sampai dengan Desember tahun 2008.

4.1.3. Karakteristik Tanah dan Kemiringan Lereng

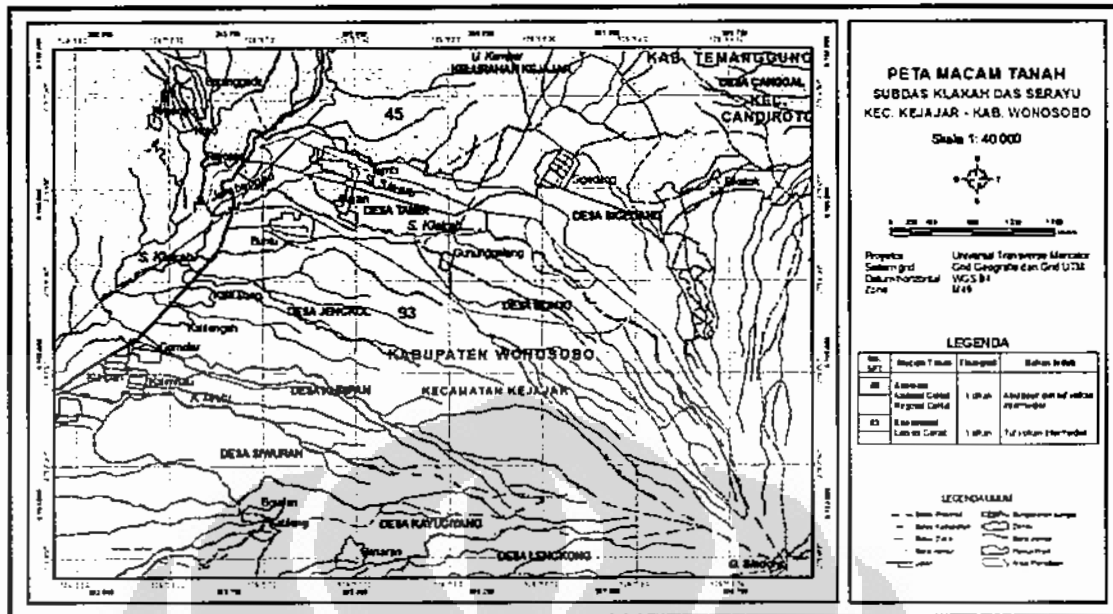
Bahan induk tanah di wilayah studi adalah bahan *vulkan pyroclastic* yang terbentuk dari erupsi gunung api muda, yang terdiri atas abu vulkanik, pasir, dan *lapilli* menutupi *breccia*, lava, *tuff*, dan lava *breccia*. Bahan *vulkan pyroclastic*, umumnya adalah bahan *intermediary (andesitic-basaltic)*, yang sebagian bergabung kepada *tuff* (Tabel 6).

Kondisi topografi juga dipengaruhi formasi tanahnya dan mempunyai tinggi 1.200-1.750 m di atas permukaan laut. Lokasi studi terletak pada lembah atau bagian rendah dari fisiografi strato vulkanik, bagian dari kompleks *landscape* pegunungan vulkanik yaitu Kompleks Gunung Sundoro-Kembang-Bismo. Kemiringan lereng adalah berbukit (8-15%), dan beberapa bagian adalah bergelombang (3-8%).

Tabel 6. Karakteristik lahan di wilayah studi.

Uraian	Sifat Lahan
Landform	<i>Lower slope, strato volcan of Mt. Sindoro</i>
Relief	Berbukit (8-15% slope)
Bahan induk	<i>Intermediary volcanic ash and sand with the base rock of andesitic hiersten-augit lava and basal olivin-augit, lava breccia, piroclastic breccia, and lava of Mt. Sundoro (Qsu) (Condon et al, 1998)</i>
Klasifikasi tanah	<i>Typic Hapludands, medial, isohyperthermic.</i>
Penggunaan lahan	Pertanian lahan kering untuk tanaman palawija dan sayuran.

Andisols adalah tanah yang utama pada daerah dataran tinggi yang gunung berapi (Peta 3). Tanah lainnya yang ada pada lokasi penelitian adalah tanah Latosols (termasuk Alfisols) dan Grumusols (Vertisols). Tanah *Andisols* mempunyai kandungan C-organik yang tinggi (3,09-3,98%) dengan kadar N sedang (0,20-0,25%) dan pH tanah agak masam (5,6-6,3). Retensi P tinggi (76,6-92,2%), dengan kandungan P-potensial sangat tinggi (95-460 mg/100g), serta K-potensial sedang (10-14 mg/100g), tetapi mengandung P-tersedia rendah-sedang (19-27 ppm) dan K dapat dipertukarkan rendah sangat rendah (0,08-0,21 cmol/kg). Oleh karena itu tanah di wilayah studi termasuk tanah yang mempunyai tingkat kesuburan tanah sedang. Kendala utama dalam mengelola tanah ini adalah kemiringan tanahnya yang lebih besar dari 8% dan hara P yang dijerap oleh tanah sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Karakteristik tanah seperti ini dapat disimpulkan bahwa walaupun tanah di wilayah studi tidak memerlukan pupuk anorganik (N,P, dan K) dan pupuk organik dalam jumlah yang tinggi, tetapi rentan pada pencucian hara dan erosi. Pencucian hara dan erosi selain akibat kemiringan tanahnya yang lebih besar dari 8% juga teksturnya yang berpasir dan struktur tanahnya yang gembur. Oleh karena itu penerapan dosis pemupukan dan teknik konservasi perlu dilakukan sehingga dihasilkan sistem pertanian yang berkelanjutan.



Peta 3. Sebaran jenis tanah pada wilayah studi berdasarkan peta skala 1:250.000 (Suprptoahardjo, 1964).

Lahan di wilayah studi diusahakan secara intensif dengan indeks pertanaman 300 atau rata-rata 3 tanaman per tahun, yaitu kentang-kentang-jagung, kentang-kol-jagung, kentang-tembakau-jagung, kol-tembakau-jagung, dan kentang-kol-tembakau, serta menggunakan pupuk dan pestisida dalam jumlah yang tinggi. Tanaman kentang adalah komoditas utama, selain tanaman lainnya seperti kubis, wortel, tembakau, dan jagung.

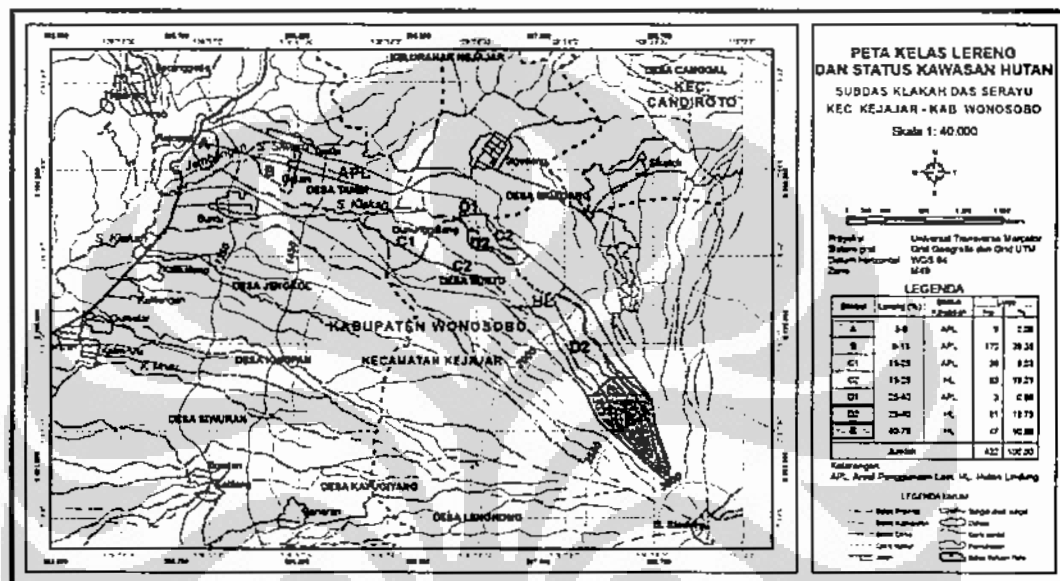
Tabel 7. Luas dan persentase wilayah studi berdasarkan kelas lereng

Kelas lereng	Luas (ha)	Persentase
3-8%	9	2,11
8-15%	167	39,20
15-25%	122	28,64
25-40%	84	19,72
40-75%	44	10,33
Jumlah	426	100,00

Sumber: Diolah dari peta topografi Skala 1:40.000 (Bakosurtanal, 2000).

Kemiringan lereng di wilayah studi antara 3-8% hingga 40-75%. Luas dan persentase wilayah studi berdasarkan kelas lereng disajikan pada Tabel 7

dan Peta 4. Tabel 7 memperlihatkan bahwa kemiringan pada wilayah studi sebanyak 39,20% terletak pada lereng 8-15% dan sebanyak 28,64% terletak pada lereng 25-40%, serta sebanyak 30,05% terletak pada lereng lebih besar dari 25%. Hanya 9% terletak pada wilayah yang landai (3-8%) dan dapat ditanami tanaman sayuran tanpa penerapan teknik konservasi yang spesifik.



Peta 4. Peta kelas lereng dan status kawasan hutan di wilayah studi.

Hal ini menggambarkan bahwa sebagian besar wilayah studi adalah daerah yang curam dan sangat rentan pada erosi dan longsor terutama pada lahan 25-40%. Wilayah seperti ini seharusnya tidak diusahakan untuk pertanian tanaman semusim, tetapi untuk areal hutan. Kenyataannya bahwa pada wilayah studi telah diusahakan untuk tanaman semusim, sehingga harus diupayakan suatu teknologi yang dapat meminimalkan dampak yang ditimbulkannya, serta ketegasan Pemerintah Daerah untuk menegakan Peraturan Pemerintah tentang konservasi tanah dan air serta tentang kawasan hutan lindung.

4.1.4. Karakteristik Petani

Rata-rata umur petani responden pada semua lokasi tergolong umur produktif yakni kurang dari 55 tahun (69-84%). Artinya kemungkinan

besar petani cukup responsif pada inovasi teknologi dan tidak ada kendala dari aspek umur. Petani responden sebagian besar hanya berpendidikan SD (75%), selanjutnya berpendidikan SMP (23%), dan SMA (2%) (Tabel 8).

Tabel 8. Karakteristik petani responden ditinjau dari umur, pendidikan, jenis pekerjaan, dan luas lahan di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo.

Uraian	Lokasi			Rata-rata
	Atas	Tengah	Bawah	
Kelompok sebaran umur:				
a. ≤ 55 tahun (%)	84	69	79	77
b. >55 tahun (%)	16	31	21	23
Tingkat pendidikan (%):				
a. 6 tahun	84	83	57	75
b. 9 tahun	16	11	43	23
c. 12 tahun	0	6	0	2
Pekerjaan utama (%):				
a. Petani	88	94	100	94
b. Di luar tani	12	6	0	6
Asal Daerah (%)				
a. Asli	84	72	72	76
b. Daerah sekitar	16	22	28	22
c. Jawa Barat	0	6	0	2
Jenis dan luas kepemilikan lahan:				
a. Luas lahan garapan (ha):	0,22	0,23	0,21	0,22
b. Milik sendiri (%)	77	72	79	76
c. Sewa (%)	23	28	21	24

Sumber: Data primer dari 75 petani.

Rendahnya tingkat pendidikan ini diperkirakan akan mempengaruhi tingkat adopsi petani pada dosis pemupukan, apalagi kunjungan dan penyuluhan tentang dosis pemupukan dan konservasi tanah juga sangat kurang. Oleh sebab itu, diseminasi teknologi tentang dosis pemupukan dan konservasi tanah yang memperhatikan kelestarian lingkungan perlu ditempuh melalui penyuluhan dan demontasi plot (demplot) di lahan petani yang melibatkan petani dan atau kelompok tani. Diseminasi yang melibatkan partisipasi petani diharapkan dapat menumbuhkembangkan

keyakinan petani akan manfaat dan pentingnya pemupukan secara rasional dan berimbang, serta konservasi tanah untuk mengatasi degradasi lahan. Pemupukan yang rasional dan berimbang dan teknik konservasi tanah akan menjamin kelangsungan produktivitas lahan serta produksi tanaman.

Pekerjaan utama petani responden adalah petani (94%), hanya 6% yang juga bekerja sebagai pedagang, pegawai negeri sipil (PNS), dan wiraswasta. Pemilikan lahan rata-rata adalah 0,22 ha. Sebanyak 77% petani memiliki lahannya sendiri dan 23% petani menyewa lahan. Petani menyewa lahan umumnya untuk ditanami kentang, karena memberikan pendapatan yang cukup besar dibandingkan tanaman sayuran lainnya.

4.2. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa keterbatasan untuk menjawab masalah penelitian yang lebih mendalam, yaitu:

1. Tidak dilakukannya pengukuran jumlah nitrat hilang yang disebabkan oleh *leaching* dan erosi.
2. Tidak terdapatnya data yang dapat membandingkan antara pemupukan N dosis tinggi dengan dosis rekomendasi untuk menjawab hingga dosis berapa akan terjadi penurunan produksi.
3. Tidak diamatinya kandungan amonium, BOD, dan COD sebagai parameter lain pencemaran air sungai.
3. Aspek sosial mengenai persepsi petani pada pemupukan N belum dikaji secara mendalam.

4.3. Faktor Pendorong Pemupukan Nitrogen

Sub bab ini membahas tentang: alasan petani memupuk tanaman dengan dosis N secara berlebihan. Petani berpendapat bahwa faktor yang mendorongnya untuk memupuk N dosis tinggi adalah peningkatan produksi (0,39), kemudian berturut-turut peringkat kedua, ketiga dan keempat adalah peningkatan pendapatan (0,30), tanah kurang subur (0,22), dan harga sayuran tinggi (0,09).

Petani tidak peduli jika memupuk N berlebihan akan berbahaya bagi lingkungan. Petani berpendapat bahwa dengan meningkatnya produksi tanaman, maka pendapatan akan meningkat pula, sehingga petani berupaya untuk selalu menambah jumlah pupuk urea dan pupuk organik kotoran ayam. Petani khawatir jika dosis pupuk diturunkan, maka produksi akan rendah. Walaupun pada kenyataannya petani mengungkapkan bahwa penambahan pupuk urea di atas dosis rekomendasi belum tentu meningkatkan produksi tanaman. Petani merasa kurang *marem*, jika memupuk urea sesuai dosis yang dianjurkan. Kekhawatiran petani ini perlu dikaji lebih lanjut, agar adopsi teknologi pemupukan lebih mudah diterima dan dilaksanakan oleh petani. Oleh karena itu penyuluhan yang berisi tentang bahaya pemupukan N berlebihan pada lingkungan, pada penurunan produksi, serta pendapatan petani perlu dilakukan secara intensif. Penyuluhan harus melibatkan partisipasi petani melalui demplot pemupukan.

Pendapat petani yang menempatkan alasan produksi sebagai alasan yang paling utama terutama disebabkan bahwa petani di lokasi penelitian adalah 77% petani berumur lebih 55 tahun dengan tingkat pendidikan yang rendah (75% SD). Petani berumur lebih 55 tahun adalah petani yang hidup dan berusaha pada masa orde baru, dimana pada masa itu dikembangkan pola pikir peningkatan produksi adalah lebih penting

dibandingkan dengan penadapatan dan untuk mendapatkan produksi yang tinggi diperlukan masukan yang tinggi pula. Hal ini tentunya tertanam dalam pola pikir petani tersebut, walaupun konsep ini tidak lagi sesuai dengan konsep pertanian modern. Selain itu juga rendahnya pendidikan petani menyebabkan petani sulit menerima pengetahuan atau teknologi baru yang disampaikan kepadanya. Untuk merubah pola pikir ini perlu metode penyuluhan yang tepat dengan melibatkan secara aktif partisipasi petani dan dengan membuat demonstrasi teknologi yang dapat memotivasi petani. Cara-cara penyuluhan yang sifatnya oral akan sulit diterima petani. Petani perlu mendengar, melihat, dan mencoba teknologi yang akan disampaikan kepadanya.

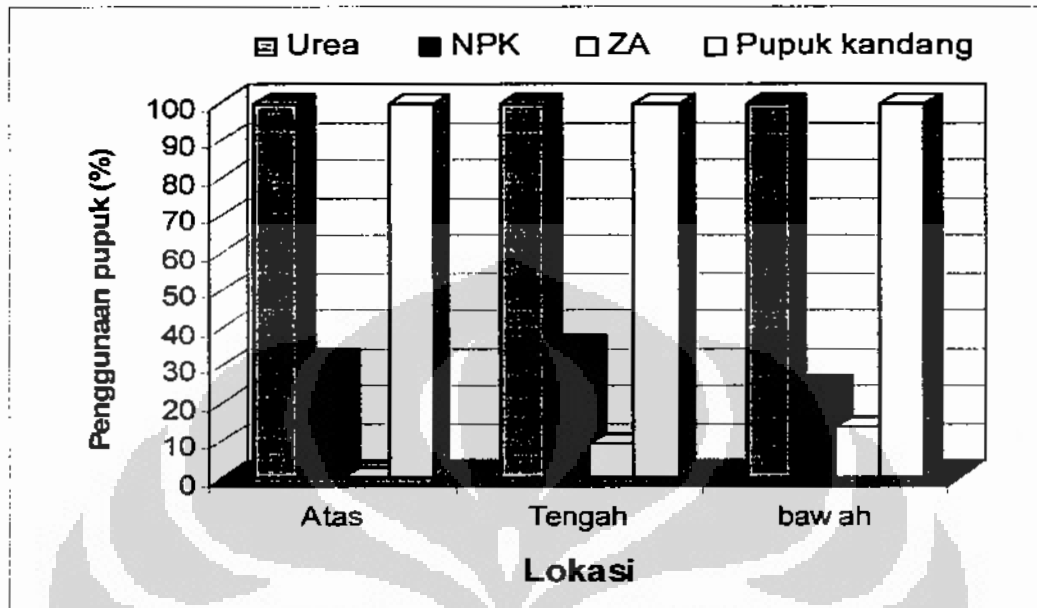
4.4. Dosis Pemupukan Nitrogen

Jenis pupuk N yang digunakan petani disajikan pada Gambar 8. Ada tiga jenis pupuk anorganik yang digunakan petani sebagai sumber N, yaitu urea, NPK, dan ZA. Sebanyak 100% petani responden menggunakan urea, kemudian diikuti penggunaan pupuk NPK (31% petani responden), ZA (8% petani responden), dan pupuk organik kotoran ayam (100% petani responden).

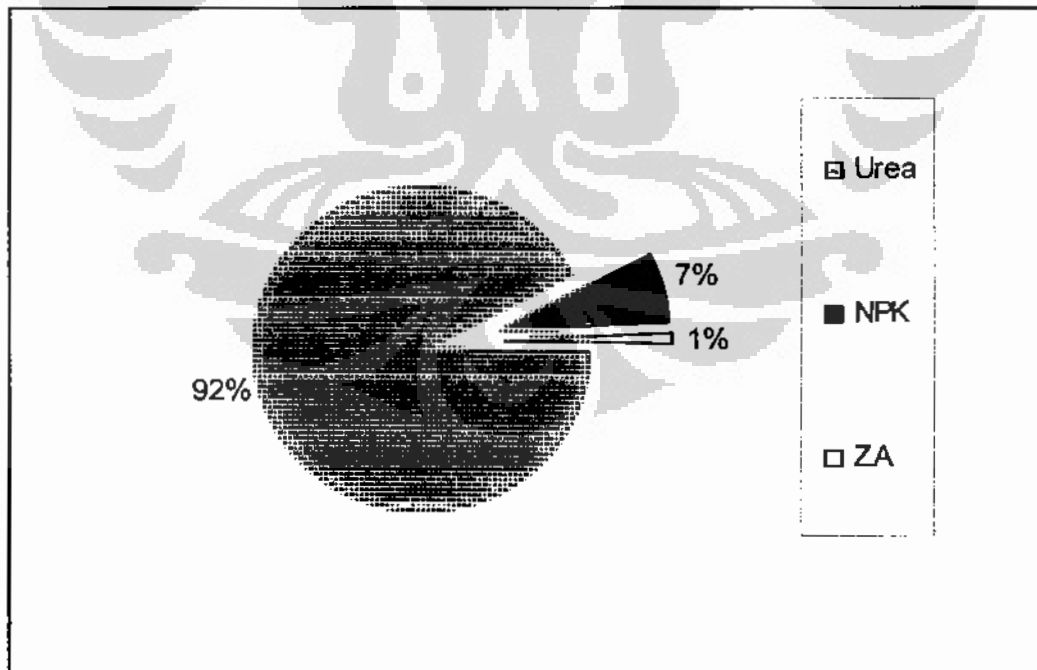
Pupuk urea adalah jenis pupuk N anorganik yang paling banyak digunakan oleh petani. Pupuk urea memberikan kontribusi 92% dari dosis pupuk N anorganik, kemudian berturut-turut pupuk NPK (7%) dan ZA (1%) (Gambar 9).

Pupuk urea dan pupuk organik merupakan pupuk N yang digunakan oleh semua petani. Pupuk urea selain lebih tersedia di kios pertanian dibandingkan pupuk N lainnya, juga harganya masih disubsidi oleh pemerintah. Pupuk urea adalah pupuk yang dibutuhkan oleh tanaman terutama pada masa pertumbuhan vegetatif tanaman. Tanaman yang

dipupuk urea akan menunjukkan respon pertumbuhan yang cepat, sehingga petani cenderung memberikan dalam jumlah yang banyak.



Gambar 8. Penggunaan pupuk N (%) oleh petani responden untuk tanaman sayuran pada Sub DAS Klakah, DAS Serayu di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo.



Gambar 9. Kontribusi jenis pupuk N pada dosis pupuk N yang diaplikasikan oleh petani responden pada usahatani sayuran di Sub DAS Klakah, DAS Serayu, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo.

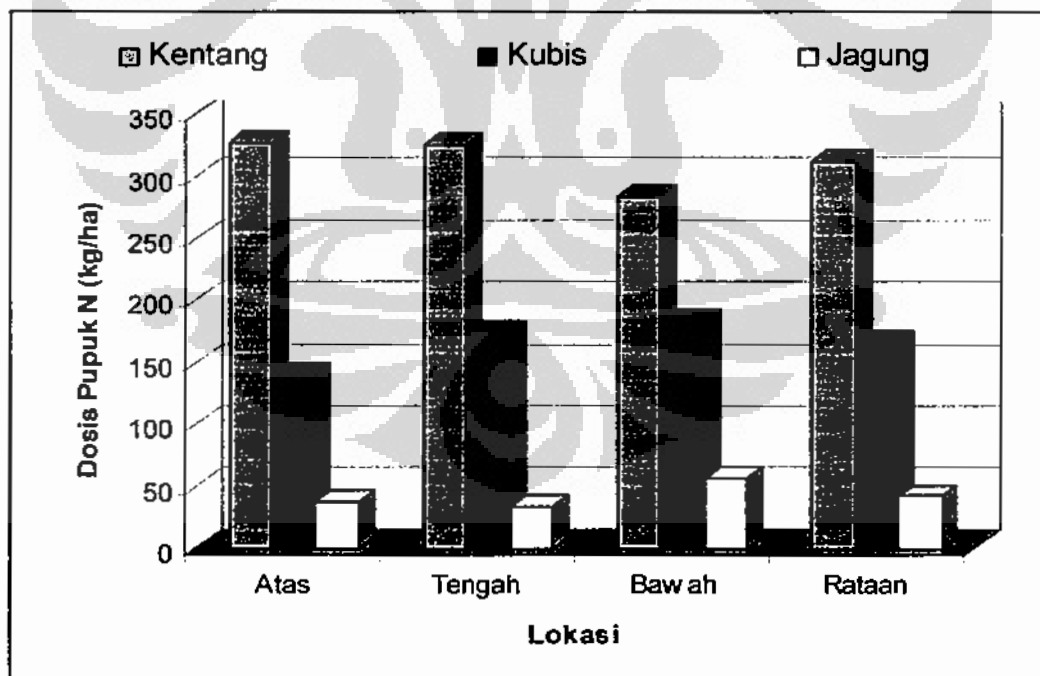
Pupuk organik kotoran ayam diaplikasikan oleh semua petani responden seperti halnya urea. Penggunaan pupuk organik kotoran ayam sangat diperlukan pada lahan kering, utamanya untuk tanaman sayuran. Lahan kering dataran tinggi, umumnya mempunyai topografi bergelombang, sehingga sangat peka pada erosi yang dapat mempercepat hilangnya C-organik tanah. Aplikasi pupuk organik ditujukan selain untuk memelihara dan meningkatkan C-organik tanah, juga untuk memperbaiki struktur tanah agar tanah menjadi gembur, sehingga kondisi tanah menjadi optimum bagi pertumbuhan tanaman. Karakteristik lahan di wilayah studi walaupun memerlukan pupuk dalam jumlah yang tidak banyak, tetapi sangat rentan pada pencucian hara, erosi, dan terjadinya longsor. Sistem pertanian yang berkelanjutan harus mempertimbangkan pemupukan dengan dosis yang rasional dan seimbang, yang mengkombinasikan pupuk anorganik dan organik serta menerapkan teknik konservasi tanah.

Pupuk N dari sumber pupuk NPK diaplikasikan oleh 32% petani responden. Petani menggunakan pupuk NPK selain sebagai sumber hara N juga sebagai sumber hara fosfor dan kalium. Hal ini terutama disebabkan sulit dan mahalnya pupuk SP-36/SP-18 dan KCl, yang merupakan sumber hara fosfor dan kalium.

Dosis pupuk N anorganik yang diaplikasikan oleh petani responden pada tanaman sayuran kentang, kubis, tembakau, dan jagung disajikan pada Gambar 10. Dosis pupuk N pada tanaman kentang, kubis, dan jagung adalah berturut-turut 312, 167, dan 43 kg N/ha atau setara dengan 678, 363, dan 93 kg urea/ha. Sedangkan dosis rekomendasi untuk tanaman kentang, kubis, dan jagung adalah berturut-turut 185, 161, dan 138 kg/ha N atau setara dengan 400, 350, dan 300 kg urea/ha. Hal ini menunjukkan petani responden memupuk N anorganik untuk tanaman sayuran seperti kentang, kubis, dan tembakau dengan dosis masing-masing lebih tinggi 70%, dan 6% dari dosis rekomendasi, sedangkan untuk tanaman jagung,

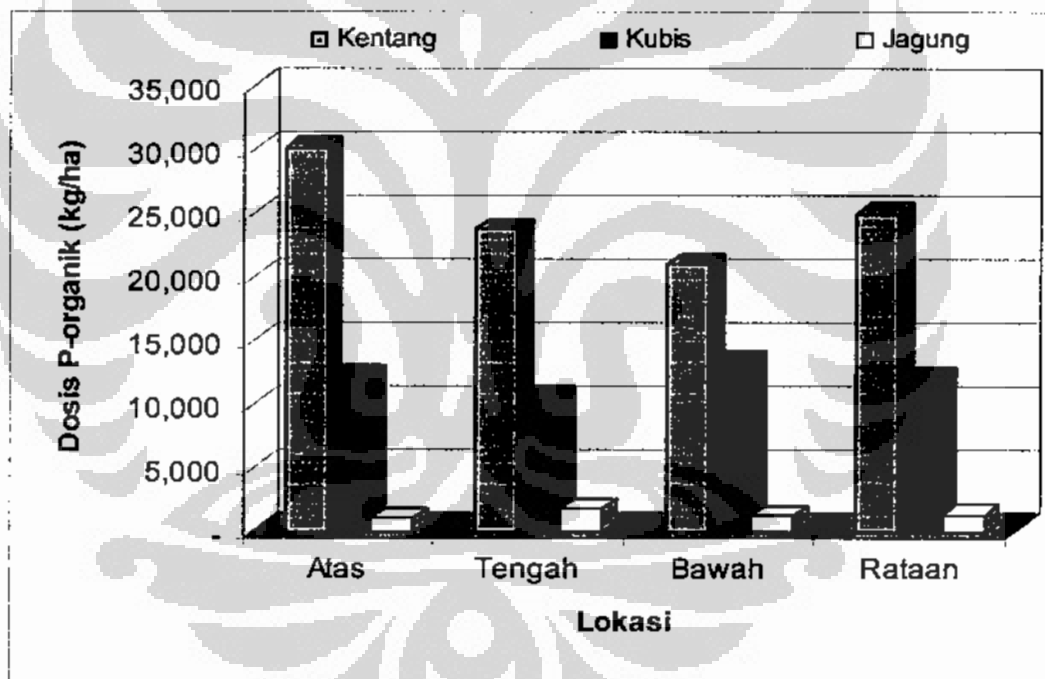
petani memupuk N anorganik 95 kg/ha (2,2 kali) lebih rendah dari dosis rekomendasi.

Pemupukan N yang lebih tinggi dari rekomendasi berbahaya bagi lingkungan, karena tidak semua N dapat dimanfaatkan tanaman. Sebagian besar N dalam bentuk nitrat akan hilang tercuci masuk ke air tanah kemudian ke air sungai, sehingga konsentrasi nitrat dapat melebihi batas yang diperkenankan. Dampak ekologis meningkatnya konsentrasi nitrat adalah terjadinya *eutrofikasi* pada kolam-kolam penampungan yang bersumber dari sungai tersebut, sehingga akan mengakibatkan meningkatnya kematian ikan pada kolam tersebut. Hasil wawancara dengan petani yang memiliki kolam ikan mengemukakan bahwa tingkat kematian ikan pada musim kemarau meningkat hingga 15%. Selain itu juga jika air sungai tersebut dimanfaatkan sebagai sumber air minum dapat menyebabkan keracunan akut pada manusia dan ternak.



Gambar 10. Dosis pupuk N anorganik yang diaplikasikan oleh petani responden pada usahatani sayuran di Sub DAS Klakah, DAS Serayu, Kabupaten Wonosobo.

Dosis pupuk N organik dari kotoran ayam pada tanaman kentang, kubis, dan jagung adalah berturut-turut 25,0; 12,1, dan 1,4 t/ha (Gambar 11). Sedangkan dosis pupuk organik untuk tanaman sayuran adalah 10-20 t/ha dan palawija 1-2 t/ha. Pada lahan di wilayah studi, tanah umumnya mempunyai kandungan C-organik tanah yang sedang, sehingga seharusnya diberi pupuk organik pada dosis yang tidak terlalu tinggi (\pm 15 t/ha). Hal tersebut menunjukkan bahwa petani memupuk tanaman kentang dengan dosis pupuk organik kotoran ayam yang lebih tinggi 5 t/ha atau 25% dari dosis rekomendasi. Sedangkan untuk tanaman lainnya, yaitu kubis dan tembakau sudah sesuai dengan rekomendasi.



Gambar 11. Dosis pupuk N organik yang diaplikasikan oleh petani responden pada usahatani sayuran di Sub DAS Klakah, DAS Serayu, Kabupaten Wonosobo.

Penggunaan organik kotoran ayam dengan dosis yang rasional sangat menguntungkan untuk keberlanjutan budi daya sayuran di lahan kering dataran tinggi. Pupuk organik akan mengurangi jumlah pemakaian pupuk anorganik yang merupakan pupuk kimiawi, yang residunya dapat

mencemari lingkungan. Pupuk organik dalam larutan tanah akan membentuk khelat-organik yang akan mengikat hara kation yang dijerap oleh koloid tanah, kemudian dilepaskan secara bertahap ke dalam larutan tanah, sehingga menjadi tersedia bagi tanaman. Oleh karena itu aplikasi pupuk organik kotoran ayam pada wilayah studi akan meningkatkan ketersediaan hara P dan K untuk tanaman. Hal ini dapat ditunjukkan pada petani yang tidak memupuk P dan K untuk tanaman jagung, tetapi jagung masih dapat menghasilkan.

Pupuk kandang kotoran ayam broiler umumnya mempunyai kadar hara P yang relatif lebih tinggi dari pupuk kandang lainnya. Kadar hara ini sangat dipengaruhi oleh jenis *konsentrat* yang diberikan. Selain itu pula dalam kotoran ayam tersebut bercampur sisa-sisa makanan ayam serta sekam yang dapat menyumbangkan tambahan hara ke dalam pupuk kandang untuk tanaman sayuran. Namun pemberian pupuk kandang kotoran ayam perlu mendapat perhatian yang lebih seksama dampak negatifnya untuk lingkungan, karena pupuk kandang kotoran ayam broiler dapat mengandung beberapa hormon yang digunakan untuk mempercepat pertumbuhan ayam. Residu hormon ini dalam pupuk kandang kotoran ayam dikhawatirkan dapat terbawa ke dalam jaringan tanaman, dan masuk ke tubuh manusia.

Sumber informasi mengenai dosis pemupukan yang diaplikasikan petani adalah petani sendiri (25%), dari teman (10%), dan dari petugas penyuluhan pertanian (65%). Dalam dua tahun terakhir petugas penyuluh pertanian telah aktif mengadakan penyuluhan secara rutin 2-4 kali pertemuan per tahun, pada awal dan akhir pertanaman. Materi yang disampaikan umumnya masalah-masalah yang berkaitan teknologi budi daya dan pelaksanaan demplot. Pada setiap pertemuan, petugas penyuluh lapangan (PPL) selalu mendiskusikan tentang pengurangan dosis pemupukan.

Dosis pupuk N dan pupuk organik yang lebih tinggi masing-masing 70% dan 25% dari rekomendasi terutama disebabkan perasaan petani yang merasa *ora marem*, jika memupuk dengan dosis yang lebih rendah. Perasaan sugesti pada petani seperti itu mungkin disebabkan oleh tingkat pengetahuan petani yang rendah (98% petani berpendidikan kurang dari 9 tahun), sehingga proses adopsi teknologi menjadi rendah.

Pada tanaman sayuran seperti kentang dan kubis, petani memupuk N anorganik dengan dosis yang tidak berbeda baik pada musim tanam ke satu, dua, maupun ke tiga. Hal ini dikarenakan ada kekhawatiran akan terjadi penurunan produksi, yang akan menyebabkan penurunan pendapatan. Tanaman kentang dan kubis adalah tanaman utama yang diharapkan dapat memberikan keuntungan yang tinggi. Hal ini berbeda dengan tanaman jagung. Petani menanam jagung sebagai selingan atau tanaman penyela, sehingga pupuk yang diberikan lebih rendah dari dosis rekomendasi. Alasan lain adanya residu pupuk dari musim sebelumnya yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman jagung.

4.5. Dampak Pupuk Nitrogen pada Produksi dan Pendapatan Petani

Rotasi pertanian yang umumnya ditanam oleh petani responden di Sub DAS Klakah adalah jagung-kentang-kubis, dan kentang-kubis-jagung. Tanaman jagung dan kentang adalah tanaman yang selalu ditanam baik pada musim tanam kesatu, dua, dan tiga dengan luasan antara 0,19-0,35 ha. Produksi jagung rata-rata adalah 3,01, 3,13, dan 2,91 t/ha berturut-turut untuk musim kesatu, dua, dan tiga, dengan BCR masing-masing 1,16, 1,59, dan 2,16 (Tabel 9). Produksi rata-rata tanaman kentang adalah berturut-turut untuk tanaman kesatu, dua, dan tiga 15,86; 19,72, dan 14,03 t/ha dengan BCR masing-masing adalah 0,87; 1,20; dan 0,87.

Tabel 9. Produksi, pendapatan petani dan BCR tanaman sayuran di kecamatan Kejajar, Kabupetan Wonosobo.

No.	Uraian	Jumlah petani (%)	Luas (ha)	Produksi t/ha	Pendapatan Rp./ha	B-C ratio
1.	Musim pertama					
	a. Jagung	50	0,19	3,01	2.060.978	1,16
	b. Kentang	24	0,33	15,86	16.885.929	0,87
	c. Kubis	19	0,26	15,41	5.760.967	1,38
2.	Musim kedua					
	a. Kentang	36	0,21	19,72	23.868.794	1,20
	b. Jagung	21	0,29	3,13	2.108.958	1,59
	c. Kubis	3	0,19	13,02	6.081.164	1,44
3.	Musim ketiga					
	a. Jagung	44	0,19	2,91	2.853.226	2,16
	b. Kentang	20	0,35	14,03	15.918.281	0,87
	c. Kubis	12	0,15	14,28	5.558.000	1,49

Sumber: Data primer hasil wawancara dengan 75 petani contoh.

Tanaman jagung menunjukkan hasil yang lebih rendah, jika dibandingkan potensi hasil jagung varietas unggul yang dapat mencapai 8 t/ha, tetapi memberikan keuntungan paling tinggi dibandingkan dengan tanaman lainnya. Tanaman jagung hanya dipupuk urea dengan dosis 93 kg/ha dan dipupuk pupuk organik kotoran ayam 1,4 t/ha. Walaupun hasil jagung di wilayah studi rendah, tetapi memberi keuntungan yang paling tinggi (BCR lebih besar dari 1). Oleh karena itu penanaman jagung varietas lokal 1 kali dalam satu tahun perlu dipertahankan, sebagai kearifan lokal petani setempat.

Jagung varietas lokal memiliki respon rendah pada pemupukan, sehingga pupuk yang dibutuhkan tidak banyak. Tanaman jagung akan mendapat hara dari residu pupuk pada musim sebelumnya. Lain halnya jika tanaman jagung yang digunakan adalah varietas unggul atau hibrida. Tanaman jagung unggul membutuhkan banyak hara untuk pertumbuhan dan produksinya, sehingga jika tanaman tidak dipupuk akan terjadi

pengurusan hara tanah, yang akan mengakibatkan terjadinya degradasi tanah. Oleh karena itu penanaman jagung varietas lokal dengan pemupukan yang rendah diharapkan dapat mengurangi jumlah nitrat yang masuk ke dalam air sungai, yang berarti akan mengurangi pencemaran nitrat dalam air sungai.

Hasil kentang masih lebih rendah jika dibandingkan dengan potensinya yang dapat mencapai 40 t/ha. Hasil kentang yang rendah ini terutama disebabkan oleh dosis pemupukannya yang belum sesuai dengan rekomendasi atau penggunaan pemupukan tidak berimbang. Petani memupuk kentang dengan pupuk urea yang berlebihan (lebih besar dari 400 kg/ha), tetapi tidak dengan pupuk lainnya seperti pupuk P dan K atau walaupun memupuk P dan K, jumlahnya relatif sedikit. Ketidakseimbangan pemupukan ini disatu sisi mengakibatkan terjadi pemborosan pemberian pupuk N, tetapi di sisi lain tanaman kekurangan hara P dan K untuk pertumbuhannya. Pemupukan yang direkomendasikan adalah pemupukan yang seimbang, yaitu pemupukan yang memperhatikan status hara tanah dan kebutuhan tanaman akan hara tersebut.

Pemberian pupuk N anorganik dan organik memberikan korelasi yang nyata pada produksi kentang (Tabel 10). Pupuk urea adalah sumber pupuk N anorganik yang memberikan korelasi yang nyata dengan nilai $R=0,5664$. Sedangkan sumber pupuk N anorganik lainnya (NPK dan ZA) tidak berkorelasi nyata. Hal ini dikarenakan bahwa tidak semua petani memupuk dengan pupuk NPK atau ZA, sehingga pengaruhnya secara tunggal tidak tampak.

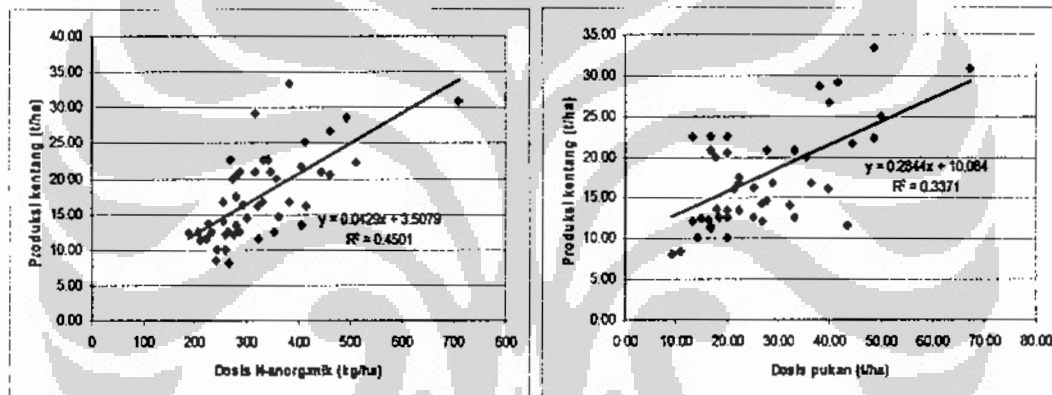
Berdasarkan plot kenormalan yang diperlihatkan pada Gambar 12 nampak bahwa sebaran data cenderung membentuk garis lurus dan tersebar secara merata di persekitaran garis lurus. Hal ini mengindikasikan asumsi kenormalan tidak dilanggar. Oleh karena itu pemberian pupuk N anorganik

dan organik mempunyai pengaruh yang sedang ($R= 0,6709$ untuk N anorganik dan $R=0,5808$ untuk N organik) pada perubahan hasil kentang.

Tabel 10. Korelasi antara pupuk N anorganik dan organik dengan hasil kentang pada Sub DAS Klakah Kecamatan Kejajar Kabupaten Wonosobo.

No.	Jenis Pupuk	Koefisien korelasi (R)
1.	1. N anorganik	0,6709*
2.	a. Urea	0,5664*
3.	b. NPK	0,0455
4.	c. ZA	-0,031
5.	2. N organik/pupuk organik	0,5806*

Keterangan: *) nyata pada taraf 0,05



Gambar 12. Regresi linear hubungan antara dosis pupuk dengan produksi kentang selama 3 musim pertanaman pada Sub DAS Klakah, DAS Serayu di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo.

Besarnya pengaruh perubahan dosis pupuk N anorganik dan organik ditunjukkan oleh nilai R^2 masing-masing 0,429 dan 0,337 mengindikasikan bahwa sekitar 42,9% dan 33,7% seluruh variasi total hasil kentang dapat diterangkan dari model. Sisanya sebesar 58,1% dan 67,3% diterangkan faktor-faktor lain yang tidak diperhitungkan ke dalam model. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk N anorganik dan organik bukan merupakan satu-satunya faktor yang dominan mempengaruhi perubahan hasil kentang.

Berpengaruhnya dosis pupuk N pada produksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, juga dikemukakan oleh Ramos *et al* (2002) bahwa pengurangan aplikasi pupuk N sekitar 50% akan mengakibatkan menurunnya rata-rata hasil sekitar 5%, dan juga menurunkan 50% nitrat yang hilang melalui *leaching*.

4.6. Dampak Pemupukan Nitrogen pada Konsentrasi Nitrat dalam Air Sungai

Tanah di wilayah studi mempunyai pH yang berkisar antara 5,6-6,3. Pada pH tersebut dengan kondisi tanah yang aerob maka proses nitrifikasi berjalan cukup baik, sehingga akan mengubah amonium dari pupuk urea menjadi nitrat. Selanjutnya nitrat yang berada dalam larutan tanah dapat tercuci oleh air perkolasi, dan masuk ke sungai.

Hasil pengukuran kandungan nitrat pada musim kemarau 2008 disajikan pada Tabel 11. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nyata pada debit sungai, konsentrasi nitrat, dan nitrat terbawa dari lokasi pengamatan baik pada musim kemarau maupun musim hujan. Hasil analisis Anova menunjukkan bahwa $\alpha = 0,05 > \text{significance level} = 0,00$ maka hipotesis H_0 ditolak, yang berarti dosis pemupukan N berpengaruh nyata kepada konsentrasi nitrat air sungai dari lokasi yang diamati (Lampiran 7, 8, dan 9).

Hasil analisis nilai rata-rata dengan *Duncan Multiple Range Test* pada taraf 0,05 menunjukkan bahwa pada musim kemarau, konsentrasi nitrat pada semua lokasi pengamatan berbeda nyata dengan konsentrasi nitrat pada bagian hulu (Tabel 11). Konsentrasi nitrat air sungai pada sungai bagian tengah hingga rendah meningkat sebesar 68-152% dari bagian hulu, tetapi masih lebih rendah dari batas yang diperkenankan (45 mg/l nitrat). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat peningkatan konsentrasi

nitrat air sungai yang nyata akibat aktivitas budi daya tanaman sayuran di Sub DAS Klakah. Pada bagian hulu aktivitas pertanian yang ada adalah perkebunan teh, sedangkan pada bagian tengah hingga bawah adalah tanaman sayuran (kentang, kubis, jagung, dan tembakau). Pada lokasi Sub DAS Klakah pertanaman dapat dilakukan sepanjang tahun dengan indeks pertanaman 300, sehingga memungkinkan terjadi pergerakan nitrat dari pupuk N ke badan sungai akibat berlebihannya jumlah pupuk N yang diberikan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10.

Tabel 11. Debit air sungai, konsentrasi nitrat dan jumlah nitrat terbawa (*loaded*) pada sub Das Klakah, DAS Serayu di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Musim Kemarau 2008.

No.	Lokasi Pengamatan	Debit sungai	Konsentrasi Nitrat	Δ Konsentrasi nitrat ¹⁾	Nitrat terbawa (<i>loaded</i>)
		l/detik	mg/l	mg/l	mg/detik
1.	Hulu (atas)	63,33 d	14,67 a	- 30,33	921 b
2.	Klakah (atas)	2,30 a	40,97 d	- 4,03	95 a
3.	Siwaru (tengah)	19,33 ab	30,00 bc	- 15,00	565 ab
4.	Klakah (tengah)	11,33 ab	25,67 b	- 19,33	293 ab
5.	Klakah (bawah)	40,00 bc	24,67 b	- 20,33	922 b
6.	Siwaru (bawah)	61,67 d	28,33 b	- 16,67	1.729 c
7.	Klakah (bawah)	67,00 d	31,33 bc	- 13,67	2.033 cd
8.	Jambangan (bawah)	47,67 cd	37,00 cd	- 8,00	1.771 c
9.	Klakah (bawah)	106,67 e	24,67 b	- 21,00	2.667 e
	CV (%)	39,4	15,4	-	35,9

Keterangan: ¹⁾ tanda (-) menunjukkan nilai konsentrasi nitrat di bawah baku mutu

Angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf sama adalah tidak beda nyata pada taraf 0,05 *Duncan Multiple Range Test*.

Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian di Lembah Sungai Bagian Atas Pantanoso Provinsi Argentina Tenggara yang dilaporkan Costa *et al* (2002: 39) konsentrasi nitrat tinggi pada air sungai berhubungan dengan pola penggunaan lahan pertaniannya. Area dengan konsentrasi N-nitrat yang lebih tinggi dari 10 mg/l berada pada lokasi dimana aktivitas pertaniannya lebih intensif seperti tanaman pertanian. Sedangkan area dengan konsentrasi N-nitrat yang lebih rendah dari 10 mg/l berada pada lokasi dimana aktivitas pertaniannya rendah seperti tanaman pakan ternak dan padang rumput. Konsentrasi nitrat yang tinggi pada air bawah tanah tanaman pertanian mengindikasikan bahwa aktivitas budi daya pertanian adalah sumber utama dari pencemaran nitrat.

Selanjutnya Andraski & Bundhy (1999) *dalam* Kraft & Stites (2003: 71), pada petak percobaan di Winconsin Central Sand Plain yang ditanami tanaman kentang kehilangan 53% dari pupuk N yang diaplikasikan akibat *leaching* dengan dosis rekomendasi 224 kg N/ha. Sedangkan Ramos *et al.* (2002: 219) melaporkan bahwa pada tanaman kentang nitrat yang hilang akibat *leaching* diantara 38 dan 65%.

Hasil penelitian Costa *et al* (2002: 39), Zhang *et al* (1996: 227) dan Andraski & Bundhy (1999) *dalam* Kraft & Stites (2003: 71) tersebut di atas sesuai dengan hasil pengamatan konsentrasi nitrat di wilayah studi. Budidaya tanaman sayuran terutama kentang mempunyai kontribusi yang tinggi untuk meningkatkan konsentrasi nitrat air sungai. Hal ini terutama disebabkan bahwa tanaman sayuran khususnya tanaman kentang membutuhkan banyak N untuk jumlah dan kualitas hasil serta mempunyai sistem perakaran dangkal. Oleh karena itu nitrat-N menjadi mudah hilang oleh *leaching*.

Konsentrasi nitrat pada bagian hulu (kebun teh) adalah 14,67 mg/l, kemudian ketika masuk ke S. Siwaru bagian atas konsentrasinya

meningkat menjadi 30 mg/l. Hal ini memperlihatkan bahwa aktivitas budidaya tanaman sayuran pada bagian atas S. Siwaru sangat intensif dengan dosis pemupukan nitrogen yang lebih tinggi, sehingga menyebabkan peningkatan nitrat yang cukup tinggi. Selanjutnya konsentrasi nitrat pada S. Siwaru bagian bawah hampir sama dengan yang di atasnya yaitu 28,33 mg/l memperlihatkan bahwa tingkat pemupukan pada lokasi S. Siwaru bagian bawah hampir sama dengan tingkat pemupukan di S. Siwaru bagian atas.

Konsentrasi nitrat pada S. Klakah bagian atas adalah 40,97 mg/l dan memperlihatkan konsentrasi yang paling tinggi dari semua lokasi pengamatan. Konsentrasinya menurun pada S. Klakah bagian tengah menjadi 25,67 mg/l, yang menunjukkan terjadinya pengenceran konsentrasi nitrat akibat meningkatnya debit air sungai. Selanjutnya pada S. Klakah bagian bawah konsentrasinya hampir tidak berubah yaitu 24,67 mg/l memperlihatkan tidak terdapat perbedaan tingkat pemupukan pada daerah disepanjang bagian tengah dan bawah dari S. Klakah. Konsentrasi pada bagian bawah S. Klakah yang merupakan muara dari S. Siwaru adalah 31,33 mg/l. Konsentrasi ini lebih tinggi dari hasil rata-rata konsentrasi nitrat air sungai yang di atasnya yaitu 26,50 mg/l (S. Siwaru= 28,33 mg/l dan S. Klakah= 24,67 mg/l). Hal ini memperlihatkan bahwa pada budidaya sayuran pada S. Klakah bagian bawah tersebut lebih intensif dan mengaplikasikan pupuk nitrogen lebih tinggi dibandingkan lahan pertanian sebelah atasnya. Konsentrasi nitrat pada S. Klakah paling bawah adalah 24,67 mg/l dan lebih rendah dari rata-rata konsentrasi nitrat dari S. Jambangan dan S. Klakah di atasnya. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada S. Klakah paling bawah telah terjadi pengenceran akibat meningkatnya debit sungai.

Konsentrasi nitrat air sungai dari satu anak sungai akan semakin menurun dengan semakin tingginya debit sungai. Hal ini dapat ditunjukkan pada

Sungai Siwaru dimana konsentrasi nitrat pada bagian tengah 30 mg nitrat- NO_3^-/l dengan debit sungai 19,33 l/detik menurun menjadi 24,67 mg nitrat- NO_3^-/l dengan debit sungai yang meningkat menjadi 40,00 l/detik atau pada Sungai Klakah dimana konsentrasi nitrat pada bagian tengah 25,67 mg nitrat- NO_3^-/l dengan debit sungai 11,33 l/detik menurun menjadi 24,67 mg nitrat- NO_3^-/l dengan debit sungai yang meningkat menjadi 40,00 l/detik. Penurunan konsentrasi nitrat ini dimungkinkan oleh adanya pengenceran konsentrasi nitrat akibat penambahan air hujan dan anak sungai yang masuk langsung ke badan sungai.

Pada Sungai Klakah yang merupakan sungai utama di Sub DAS Klakah, peningkatan konsentrasi nitrat akan terjadi, jika terdapat tambahan nitrat dari anak sungainya (Sungai Siwaru), sedangkan debit sungai tidak jauh berbeda dengan debit sungai di bagian atasnya. Kemudian konsentrasi nitrat akan menurun kembali jika debit sungai meningkat secara nyata, akibat terjadinya pengenceran oleh air hujan yang masuk langsung ke badan sungai.

Pada Sungai Klakah bagian atas konsentrasi nitratnya paling tinggi dibandingkan dengan konsentrasi nitrat pada bagian sungai yang lain, yaitu 40,97 mg nitrat- NO_3^-/l . Hal ini dikarenakan pada Sungai Klakah pada bagian atas tidak terdapat air sungai yang mengalir, sehingga air sungai yang diukur adalah mata air yang keluar dari tebing sungai. Oleh karena itu air yang diukur tersebut tidak mengalami pengenceran, langsung dari aliran air bawah tanah.

Pada anak Sungai Jambangan konsentrasi nitratnya paling tinggi dibandingkan dengan konsentrasi nitrat pada bagian anak sungai yang lain, yaitu 37,00 mg nitrat- NO_3^-/l . Pada anak Sungai Jambangan selain aktivitas budi daya sayurannya intensif juga tinggi tebing yang lebih rendah dibandingkan dengan sungai lainnya. Tinggi tebing sungai

Jambangan kurang dari 2 meter, sedangkan pada sungai lainnya lebih dari 5 m. Hal ini mempengaruhi lamanya pergerakan nitrat di dalam tanah masuk ke badan sungai (*Residential time*).

Nitrat terbawa air sungai semakin ke bawah akan semakin banyak yaitu dari 565 menjadi 1.729 mg nitrat-NO₃⁻/detik pada Sungai Siwaru, 293 menjadi 2.160 mg nitrat-NO₃⁻/detik pada Sungai Klakah. Nitrat terbawa menunjukkan jumlah nitrat yang terdapat air sungai per satuan detik, atau jumlah nitrat yang hilang terbawa air sungai per satuan waktu. Jika jumlah nitrat terbawa diasumsikan tetap, maka dalam satu hari akan terbawa 187 kg nitrat-NO₃⁻ atau 41 kg nitrat-N atau 90 kg urea, setara dengan uang Rp.135.000,- jika harga urea Rp.1.500,- per wilayah Sub DAS. Dalam satu musim pertanaman (4 bulan) akan terbuang uang senilai Rp.16.200.000,- per wilayah Sub DAS. Oleh karena itu perlu dilakukan langkah-langkah yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk N, sehingga jumlah pupuk N yang terbuang dapat ditekan serendah mungkin.

Hasil pengukuran kandungan nitrat pada musim hujan 2008 disajikan pada Tabel 12. Hasil analisis Anova menunjukkan bahwa hipotesis H₀, yaitu tidak terdapat pengaruh dosis pemupukan N pada konsentrasi nitrat air sungai dari lokasi yang diamati ditolak (Lampiran 4, 5, dan 6).

Hasil analisis nilai rata-rata dengan *Duncan Multiple Range Test* pada taraf 0,05 menunjukkan bahwa pada musim hujan menunjukkan perbedaan nyata antara konsentrasi nitrat air sungai di bagian hulu dengan konsentrasi nitrat air sungai di bagian bawahnya (Tabel 12). Konsentrasi nitrat-NO₃⁻ pada seluruh lokasi pengamatan menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi nitrat pada pengamatan di musim kemarau. Rata-rata konsentrasi nitrat-NO₃⁻ pada musim hujan lebih rendah 2,9 kali dari konsentrasi nitrat-NO₃⁻ pada musim

kemarau (Tabel 11 dan 12). Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi pengenceran akibat masuknya air hujan ke badan sungai. Curah hujan pada bulan Juli (musim kemarau) adalah 29 mm, sedangkan pada bulan Desember (musim hujan) adalah 581 mm.

Peningkatan debit air sungai pada sungai Klakah tidak menyebabkan menurunnya konsentrasi nitrat-NO₃⁻ air sungai. Hal ini terjadi akibat masuknya nitrat tidak hanya dari anak sungai di atasnya (sungai Siwaru dan Jambangan), tetapi juga juga dari *leaching* dan aliran permukaan dari lahan di atasnya (*upstream*).

Tabel 12. Debit air sungai, konsentrasi nitrat, dan jumlah nitrat terbawa (*loaded*) pada sub Das Klakah, DAS Serayu di Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo. Musim Hujan 2008.

No.	Lokasi Pengamatan	Debit sungai	Konsentrasi Nitrat	Δ Konsentrasi nitrat ²⁾	Nitrat terbawa (<i>loaded</i>)
		l/detik	mg/l	mg/l	mg/detik
1.	Hulu (atas)	80,50 bc	6,27 a	- 38,37	509 a
2.	Klakah (Atas)	4,47 a	17,88 d	- 27,12	79 a
3.	Siwaru (tengah)	47,23 ab	11,90 c	- 33,10	557 a
4.	Klakah (tengah)	21,07 ab	8,22 ab	- 36,78	163 a
5.	Klakah (bawah)	75,70 bc	10,19 bc	- 34,81	701 ab
6.	Siwaru (bawah)	117,33 d	6,91 ab	- 38,09	791 ab
7.	Klakah (bawah)	182,07 e	10,35 bc	- 34,65	2.225 c
8.	Jambangan (bawah)	94,87 cd	12,35 c	- 32,65	1.477 bc
9.	Klakah (bawah)	421,80 f	10,42 bc	- 34,58	4.395 d
	CV (%)	30,7	18,6	-	39,5

Keterangan: ²⁾ tanda (-) menunjukkan nilai konsentrasi nitrat di bawah baku mutu

Angka dalam kolom yang sama yang diikuti oleh huruf sama adalah tidak beda nyata pada taraf 0,05 *Duncan Multiple Range Test*.

Pada musim kemarau dan musim hujan konsentrasi nitrat- NO_3^- di seluruh lokasi pengamatan menunjukkan nilai yang lebih rendah dari konsentrasi nitrat- NO_3^- yang diperkenankan yaitu 45 mg/l atau 10 mg nitrat-N/l. Konsentrasi nitrat yang masih di bawah yang diperkenankan pada Sub DAS Klakah berbeda dengan yang ditunjukkan pada penelitian penelitian di Cina Utara yang dilaporkan oleh Zhang *et al* (1996: 227), yaitu terjadi pencemaran nitrat pada sumur petani akibat dosis pemupukan N yang tinggi. Dosis pemupukan N untuk tanaman sayuran di Cina Utara mencapai 3.719 kg/ha N. Tingginya pemupukan N mengakibatkan sumur petani baik sumur dangkal maupun dalam dengan kedalaman 20-50 m mengandung nitrat dengan konsentrasi yang melebihi batas 45 mg NO_3^- /l yaitu melebihi 100 mg NO_3^- /l.

Perbedaan tersebut disebabkan dosis pemupukan yang diterapkan petani Sub DAS Klakah walaupun lebih tinggi 1,7 kali dari dosis rekomendasi, tetapi masih 11,9 kali lebih rendah jika dibandingkan dengan dosis pemupukan N yang diterapkan petani di Cina. Lebih rendahnya konsentrasi nitrat- NO_3^- dari batas toleransi menunjukkan bahwa alam yaitu tanah masih mampu menahan nitrat- NO_3^- yang tidak dapat dimanfaatkan tanaman, sehingga nitrat yang masuk ke badan sungai masih di bawah toleransi. Tetapi hal ini tidak mungkin akan terjadi sepanjang masa, pada satu waktu tanah tidak mampu lagi menahan jumlah nitrat. Jika daya lenting tanah sudah terlewati maka kemampuan tanah menahan nitrat dalam larutan tanah akan semakin menurun, sehingga semakin banyak nitrat yang terbuang dan masuk ke dalam badan sungai. Oleh karena itu upaya-upaya yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk N harus dilakukan.

Nitrat terbawa air sungai semakin ke bawah akan semakin banyak yaitu dari 565 menjadi 1.729 mg nitrat- NO_3^- /detik (musim kemarau) dan dari 565 menjadi 1.729 mg nitrat- NO_3^- /detik (musim hujan) pada Sungai

Siwaru, dari 293 menjadi 2.160 mg nitrat-NO₃⁻/detik (musim kemarau) dan dari 293 menjadi 2.160 mg nitrat-NO₃⁻/detik (musim hujan) pada Sungai Klakah. Nitrat terbawa menunjukkan bahwa jumlah nitrat yang terdapat air sungai per satuan detik, sehingga merupakan jumlah nitrat yang hilang terbawa air sungai per satuan waktu. Jika jumlah nitrat terbawa diasumsikan tetap, maka pada musim kemarau dalam satu hari akan terbawa 187 kg nitrat-NO₃⁻ atau 41 kg nitrat-N atau 90 kg urea setara dengan uang Rp.135.000,- jika harga urea Rp.1.500,-. Dalam satu bulan akan terbuang uang senilai Rp.4.057.000,-. Sedangkan pada musim hujan dalam satu hari akan terbawa 380 kg nitrat-NO₃⁻ atau 84 kg nitrat-N atau 183 kg urea, sehingga akan terbuang uang senilai Rp.175.165,-. Dalam satu bulan di musim hujan akan terbuang uang senilai Rp.8.255.000,-. Oleh karena itu perlu dilakukan langkah-langkah yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk N, sehingga jumlah pupuk N yang terbuang dapat ditekan serendah mungkin.

Jumlah nitrat yang terbawa air yang meningkat di bagian hilir daripada di bagian hulu mengindikasikan adanya pengaruh pemupukan N yang tinggi pada budi daya sayuran, utamanya kentang. Kraft and Stites (2003: 70) juga mengemukakan bahwa budi daya tanaman kentang menyuplai lebih banyak nitrat dibandingkan tanaman sayuran lain seperti jagung manis.

Jika petani tetap menerapkan pemupukan N dosis tinggi yang disertai dengan penanaman tanaman kentang yang semakin luas, maka dikhawatirkan akan terjadi konsentrasi nitrat dalam air sungai yang melebihi batas normal yang diperkenankan. Hal ini akan dapat menjadi sumber keracunan nitrat dan sangat berbahaya jika dikonsumsi oleh bayi atau ternak, dan dapat menimbulkan keracunan akut. Selain itu juga jika air sungai kaya nitrat tersebut digunakan sebagai sumber air kolam akan mengakibatkan eutrofikasi, yang dapat menurunkan kualitas air kolam, sehingga dapat mengakibatkan kematian ikan. Hasil wawancara dengan

petani responden yang memelihara ikan mengemukakan bahwa terdapat peningkatan kematian ikan hingga 10% pada musim kemarau, jika dibandingkan dengan pada musim hujan. Eutrofikasi juga dapat mengakibatkan cepat berkembangnya tumbuhan air enceng gondok pada penampungan-penampungan air yang memanfaatkan air sungai kaya nitrat.

Tiga strategi yang digunakan untuk mengurangi kehilangan nitrat oleh *leaching* dalam sistem pertanian adalah 1) Pengurangan jumlah pupuk N yang diaplikasikan, sehingga meniadakan kehilangan bagian N tanah oleh *leaching*, 2) Pupuk N diaplikasikan beberapa kali, sehingga mengurangi terbentuknya ukuran nitrat tanah yang menjadi mudah untuk hilang oleh *leaching* dalam satu kali, dan 3) Pengelolaan air seefisien mungkin dengan tujuan untuk mencegah terjadinya *leaching*.

4.7. Teknologi Konservasi Tanah

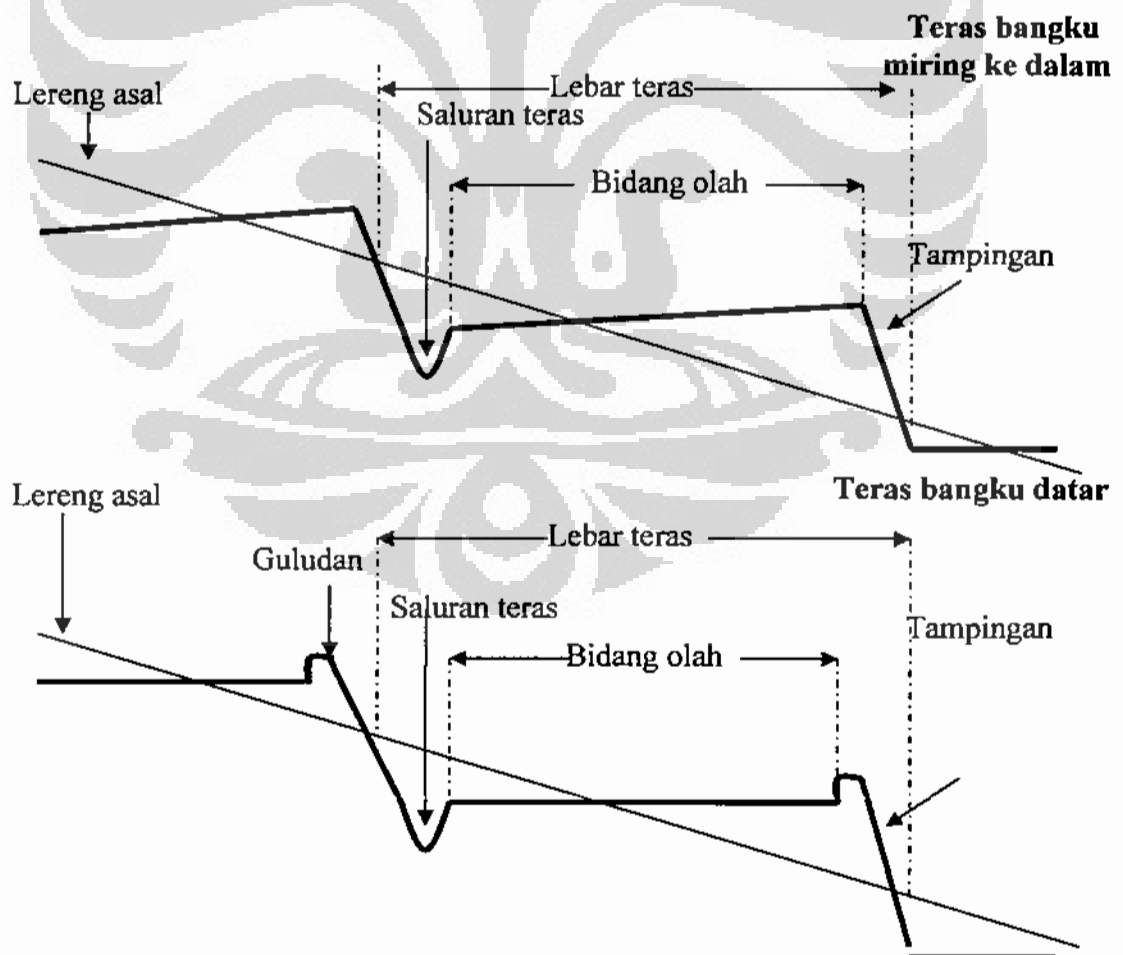
Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, teknologi pengelolaan lahan yang telah dilakukan petani adalah teknologi konservasi tanah dan sistem pertanaman monokultur serta tumpang sari. Teknologi konservasi *existing* yang ditemui di wilayah studi adalah teras bangku, gulud permanen, dan gulud tidak permanen. Kondisi umum dari masing-masing teknik konservasi dapat digambarkan sebagai berikut:

a. Teras Bangku

Petani yang menerapkan teras bangku sebanyak 46%. Kondisi teras bangku cukup baik dengan batu sebagai penguat teras, tetapi tidak ditanami tanaman penguat teras, baik pada bibir maupun pada tampingannya (Gambar 13). Pada Gambar 14 menyajikan sketsa teras bangku yang direkomendasikan.



Gambar 13. Penampilan teras bangku yang diterapkan petani di Sub DAS Klakah.



Gambar 14. Sketsa teras bangku miring ke dalam dan teras bangku datar.

Sebagian teras mempunyai bidang olah miring keluar, sehingga menyebabkan efektivitas teras dalam mencegah erosi menjadi menurun. Kondisi saluran pembuangan air belum terorganisasi secara baik untuk setiap hamparannya. Alasan petani membuat teras bangku adalah agar tanah tidak longsor, untuk mengatur jalannya air, dan tanah tidak terbawa air (erosi).

Kemiringan lereng pada lahan diterapkan teras bangku adalah 15%-40% dan sebanyak 25% teras bangku berada pada kemiringan lereng yang sangat curam lebih dari 40%, sehingga mempunyai bidang olah yang cukup sempit. Seharusnya pada lahan ini tidak direkomendasikan untuk diusahakan budi daya tanaman semusim, tetapi untuk ditanaman tanaman tahunan atau dihutankan sesuai dengan Peraturan Menteri Pertanian No. 47/Permentan/OT.1400/10/2005 (Gambar 15).



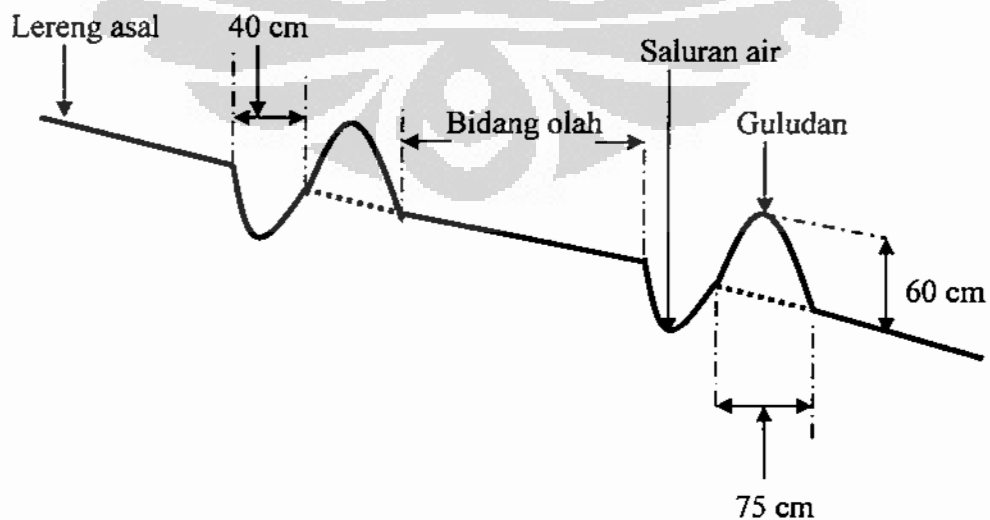
Gambar 15. Teras bangku yang berada pada kemiringan lereng lebih dari 40% di Sub DAS Klakah.

b. Teras Gulud

Teras gulud tidak permanen diterapkan oleh 54% petani contoh (Gambar 16). Gulud ini merupakan barisan/jalur tanam atau bedengan, saat dilakukan panen dan pengolahan lahan guludan tersebut turut terbongkar kembali.



Gambar 16. Gulud tidak permanen yang diterapkan petani di Sub DAS Klakah.



Gambar 17. Sketsa penampang samping teras gulud permanen.

Teras gulud tidak permanen diterapkan oleh 33% petani pada lahan dengan kemiringan lebih besar dari 8-40%. Seharusnya pada kemiringan lebih dari 8% petani menerapkan teras gulud permanen seperti Gambar 17 atau teras bangku. Alasan petani tidak menerapkan teras gulud permanen atau teras bangku adalah tanahnya tidak terlalu miring, dan biayanya mahal.

Gulud tidak permanen diterapkan oleh 21% petani pada lahan dengan kemiringan 3-8%. Beberapa petani sudah menyusun guludnya mengikuti kontur. Penyusunan gulud seperti ini dapat berkontribusi dalam menekan erosi, meskipun tidak akan seefektif gulud yang permanen atau teras gulud. Tindakan konservasi yang tidak permanen seperti ini menjadi riskan saat dilakukan penyiapan lahan, karena dalam keadaan lahan terbuka (seperti saat setelah panen, pengolahan tanah dan penyiapan tanam), tindakan konservasi justru sangat diperlukan.

Sebanyak 50% petani yang menerapkan teras gulud tidak mengikuti kontur, sehingga gulud menjadi kurang berfungsi untuk menahan laju aliran permukaan dan meningkatkan penyerapan air ke dalam tanah. Kurangnya pengetahuan petani tentang pembuatan teknik konservasi tanah, dikarenakan tidak adanya penyuluhan tentang hal tersebut.

4.8. Alternatif Teknologi Pengelolaan Lahan Ramah Lingkungan pada Budidaya Sayuran Dataran Tinggi

Teknologi yang ditawarkan kepada petani harus memenuhi tiga kriteria yaitu secara teknis teknologi tersebut mudah diterapkan petani, secara ekonomis memberikan keuntungan, dan secara sosial dapat diterima. Perbaikan teknologi pengelolaan lahan pada usahatani sayuran dataran harus dilakukan secara terpadu, sehingga teknologi yang diterapkan menguntungkan bagi petani dan mampu meminimalkan dampak

kerusakan lingkungan yang ditimbulkannya. Teknologi pengelolaan yang mengkombinasikan antara pemupukan anorganik dan organik serta teknik konservasi tanah diharapkan dapat menjamin kelangsungan sistem budi daya tanaman sayuran dataran tinggi.

Berdasarkan uraian tersebut di atas maka perbaikan teknologi yang dapat dilakukan pada wilayah studi adalah sebagai berikut:

1. Penerapan rotasi tanam yaitu jagung-kentang-kubis. Rotasi tanam seperti ini sesuai untuk diterapkan pada lokasi studi, selain menguntungkan juga mengkombinasikan sayuran umbi, daun, dan biji. Jagung yang ditanam varietas lokal dengan dosis pupuk rendah atau tidak dipupuk anorganik, hanya mendapat pupuk dari residu pupuk dari tanaman musim sebelumnya.
2. Penerapan pemupukan yang mengkombinasikan antara pupuk anorganik dan pupuk organik. Dosis pemupukan anorganik harus rasional dan seimbang, yaitu memupuk sesuai dengan status hara tanah dan kebutuhan tanaman, dan pemberian pupuk organik yang rasional untuk memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan efisiensi pemupukan. Dosis pupuk anorganik yang disarankan adalah 184 kg N/ha, 50 kg P₂O₅/ha, dan 60 kg K₂O/ha untuk tanaman kentang, 161 kg N/ha, 50 kg P₂O₅/ha, dan 60 kg K₂O/ha untuk tanaman kubis, dan 22,5 kg N/ha untuk tanaman jagung. Dosis pupuk organik yang disarankan adalah 10-20 t pupuk kandang/ha untuk tanaman sayuran dan 1 t/ha untuk tanaman jagung.
3. Perbaikan teknologi konservasi tanah untuk menekan laju erosi tanah dan nitrat yang terbawa pada lahan dengan kemiringan lereng kurang dari 15%. Penyempurnaan teras bangku dapat dilakukan dengan menanam tanaman penguat teras pada teras bangku yang tidak menggunakan batu. Rumput setaria dapat dipilih sebagai tanaman penguat bibir teras, setiap jarak satu meter dalam barisan setaria,

ditanam tanaman legum seperti gamal (*Gliricidia sepium*). Untuk tujuan konservasi, lebih baik gamal ditanam dari biji sehingga dapat membentuk sistem perakaran yang lebih kuat. Pada tampungan ditanam rumput/tanaman yang sifatnya menjalar seperti rumput paspalum atau legum seperti kacang (*Arachis pintoi*). Manfaat dari tanaman penguat teras adalah: (1) membuat teras menjadi lebih stabil, (2) bertungsi sebagai filter sedimen dan menangkap nitrat, (3) mendukung penyediaan pakan ternak, dan (4) dengan berjalannya waktu dapat memperbaiki kondisi bidang olah yang miring keluar menjadi relatif lebih datar atau miring ke dalam. Teras bangku juga harus dilengkapi dengan saluran teras, sehingga air yang tidak meresap ke dalam tanah dapat mengalir secara lebih terkendali dan selanjutnya dialirkan ke saluran pembuangan air (SPA).

Agar gulud lebih efektif untuk mencegah erosi dan mengendalikan aliran permukaan, maka setiap jarak tertentu (bergantung pada kemiringan lahan) satu gulud harus dibuat permanen. Gulud harus dibuat searah dengan kontur. Seperti halnya teras bangku, gulud tersebut harus dilengkapi tanaman penguat gulud dan saluran air. Gulud yang sudah dilengkapi tanaman penguat saluran air sudah bisa dikategorikan sebagai teras gulud.

4. Pada lahan dengan kemiringan lereng kurang dari 15% direkomendasikan untuk ditanam tanaman tahunan pada batas pemilikan lahan. Penanaman tanaman tahunan pada batas pemilikan lahan, selain untuk menjaga fungsi Sub DAS dalam pencegahan erosi, pencegahan banjir, pencegahan longsor, dan penjaga ketersediaan air tanah menjadi lebih efektif, juga perakaran tanaman tahunan (legum pohon) dapat menyerap pupuk N yang tidak dimanfaatkan oleh tanaman sayuran atau memompa hara dari *sub soil* atau lapisan yang lebih dalam.

5. Menanami tanaman tahunan dan melarang menanam tanaman semusim (sayuran dan palawija) pada tanah-tanah dengan kemiringan lereng lebih besar dari 15%. Hal ini dikarenakan bahwa pada areal studi merupakan areal yang berbatasan dengan hutan lindung, sehingga merupakan areal penyangga. Penanaman tanaman tahunan pada tanah dengan kemiringan lereng lebih besar dari 15% diharapkan dapat menjaga fungsi Sub DAS.
6. Meningkatkan aktivitas kegiatan penyuluhan secara berkala melalui kelompok tani dengan melakukan demplot yang melibatkan secara aktif partisipasi petani, sehingga petani dapat melihat, mengamati, dan belajar dari demplot tersebut.



5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada faktor-faktor pendorong petani memupuk N dosis tinggi, dan dampak yang ditimbulkannya, serta upaya penanggulangnya maka disimpulkan:

1. Faktor pendorong petani memupuk urea dengan dosis di atas rekomendasi adalah peningkatan produksi (0,39), kemudian berturut-turut peringkat kedua, ketiga dan keempat adalah peningkatan pendapatan (0,30), kesuburan tanah (0,22), dan harga sayuran (0,09).
2. Dosis pupuk N yang diterapkan petani pada tanaman kentang, kubis, dan jagung berturut-turut adalah 312, 167, dan 43 kg N/ha atau setara dengan 678, 363, dan 93 kg urea/ha dan lebih tinggi 70% dan 6% dari dosis rekomendasi untuk tanaman kentang dan kubis, sedangkan untuk tanaman jagung masih di bawah dosis rekomendasi.
3. Produksi tanaman kentang, kubis, dan jagung pada wilayah studi lebih rendah dari potensi hasilnya, tetapi masih memberikan keuntungan usahatani (B-C ratio) masing-masing 0,98; 1,44; dan 1,64. Pemberian pupuk N anorganik dan pupuk organik kotoran ayam memberikan korelasi nyata pada produksi kentang yang ditunjukkan oleh koefisien korelasi (R) masing-masing 0,5564 dan 0,5806.
4. Pemupukan N dosis tinggi berpengaruh nyata (pada taraf 0,05) meningkatkan konsentrasi nitrat dalam air sungai sebesar 64% dan 68% lebih tinggi dari konsentrasi nitrat air sungai di bagian hulu masing-masing pada musim kemarau dan hujan. Namun, konsentrasi nitrat di semua lokasi pengamatan menunjukkan nilai yang lebih rendah (24,00–40,97 mg nitrat-NO₃⁻/l pada musim kemarau dan 6,91–17,88 mg nitrat-NO₃⁻/l) dari konsentrasi nitrat-NO₃⁻ yang

diperkenankan untuk air minum (45 mg/l). Jumlah nitrat yang terbawa air sungai dalam satu hari masing-masing sebanyak 187 kg nitrat-NO₃⁻ atau setara dengan 90 kg urea pada musim kemarau dan 380 kg nitrat-NO₃⁻ atau setara dengan 90 kg urea.

5. Teknologi konservasi tanah yang diterapkan petani adalah teras bangku (46%), dan gulud tidak permanen (54%). Dari 54% yang menerapkan gulud tidak permanen, 58% petani menerapkan teknologi konservasi tidak sesuai dengan kemiringan lerengnya.

Secara umum, upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalkan kerusakan lingkungan adalah a) penerapan rotasi tanam yang mengkombinasikan tanaman sayuran umbi, daun, dan biji (jagung-kentang-kubis), b) penerapan dosis pemupukan sesuai dengan rekomendasi, c) perbaikan teknologi konservasi tanah sesuai dengan kemiringan lerengnya, d) penanaman tanaman tahunan dengan tanaman legum pohon seperti Albasia, Lamtoro gung, dan Gude atau tanaman tahunan lainnya seperti Suren atau Randu, pada lahan dengan kemiringan kurang dari 15%, e) penanaman tanaman tahunan dan melarang penanaman tanaman semusim (sayuran dan palawija) pada tanah dengan kemiringan lereng lebih besar dari 15%, dan f) peningkatan aktivitas penyuluhan melalui kelompok tani secara berkala dan membuat demplot teknologi pemupukan dan konservasi tanah.

5.2. Saran

1. Mengingat bahwa upaya mengubah persepsi dan perilaku petani tentang dampak pemupukan N dosis tinggi terhadap lingkungan, yaitu meningkatnya kadar nitrat air sungai bukan merupakan hal yang mudah, maka diperlukan penelitian yang lebih mendalam di bidang sosial dan budaya atau ekologi manusia.

2. Perlu diteliti lebih mendalam tentang berapa kontribusi dari *leaching* dan aliran permukaan pada konsentrasi nitrat di air sungai, serta kadar nitrat di dalam sayuran.
3. Perlu diteliti pengaruh beberapa tingkat dosis pemupukan terhadap produksi sayuran, sehingga diketahui sampai dosis berapa tanaman sayuran mengalami penurunan produksi.
4. Perlu diteliti pengaruh pemupukan nitrogen terhadap kadar amonia, nitrit, BOD, dan COD air sungai.
5. Upaya penanaman tanaman tahunan pada lahan-lahan kritis atau pada lahan berteras sempit perlu disosialisasikan kepada masyarakat. Alternatif jenis tanaman yang ditanam sebaiknya mempunyai nilai ekonomi dan ekologi, sehingga masyarakat juga mendapat keuntungan ekonomi (Albasia, Suren, dan Randu).

DAFTAR PUSTAKA

Agus, F., Irawan. 2006. Agricultural land conversion as a threat to food security and environmental quality *dalam Prosiding Seminar Multifungsi dan Revitalisasi Pertanian*,. Eds. Ai Dariah, N. L. Nuraida, Irawan, E. Husen, dan F. Agus. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.

Asandhi, A. Azirin, S. Sastrosiswojo, Suhardi, Z. Abidin, Subhan. 1989. *Kentang* Edisi ke-2. Balai Penelitian Hortikultura. Lembang.

Budianto, Joko. 2002. Penggunaan pupuk berimbang untuk meningkatkan produksi pertanian dan pendapatan petani *dalam* Prosiding Lokakarya Pemupukan Berimbang. Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia-Departemen Pertanian-Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI. Jakarta.

Bungin, B. 2008. *Metodologi Penelitian Kuantitatif: Komunikasi, Ekonomi, dan Kebijakan Publik, serta Ilmu-Ilmu Sosial Lainnya*. Ed. 1 Cet. 3. Kencana Prenada Media Group, Jakarta.

Costa, J. L., H. Massone, D. Martinez, E. F. Suero, C. M. Vidal, F. Bedmar. 2002. Nitrate contamination of rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. *Agricultural Water Management: 57*, 33-47. Elsevier Science B. V.

Dariah, Ai, A. Rachman, U. Kurnia. 2004. Erosi dan degradasi lahan kering di Indonesia *dalam Buku Teknologi Konservasi Tanah Pada Lahan Kering Berlereng*. Eds. Undang Kurnia, A. Rachman, dan Ai Dariah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.

Dariah, Ai, E. Husen. 2006. Optimalisasi multifungsi pertanian pada usahatani berbasis tanaman sayuran (*Optimizing multifunctionality of agriculture on vegetable-based farming*) *dalam Prosiding Seminar Multifungsi dan Revitalisasi Pertanian*. Eds. Ai Dariah, N. L. Nurida, E. Husen, dan F. Agus. Badan Litabng Pertanian, MAFF, dan ASEAN Sekretariat. Jakarta.

Dirjen Bina Produksi Hortikultura. 2003. *Budi Daya Kentang*. Dirjen Bina Produksi Hortikultura. Jakarta.

----- . 2004. *Budi Daya Sayuran Daun dan Tunas*. Dirjen Bina Produksi Hortikultura. Jakarta.

Hidayat, A., A. Mulyani. 2002. Lahan kering untuk pertanian dalam *Buku Teknologi Pengelolaan Lahan Kering, Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*, Eds. A. Adimihardja, Mappaona, dan A. Saleh. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. Hal.

Kraft, G. J., W. Stites. 2003. Nitrate impact on groundwater from irrigated-vegetable system in a humid north-central US sand plain. *Agriculture*,

Ecosystem and Environmental 100, 63-74. www.sciencedirect.com. Elsevier Science B. V.

Kurnia, U., Y. Sulaeman, A. K. Muti. 2000. Potensi dan pengelolaan lahan kering dataran tinggi dalam *Sumber Daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya*, Eds. A. Adimihardja, L. I. Amien, F. Agus, dan D. Djaenuddin. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.

Kurnia, U., Sudirman, H. Kusnadi. 2002. Teknologi rehabilitasi dan reklamasi lahan kering dalam *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering, Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*, Eds. A. Adimihardja, Mappaona, dan A. Saleh. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.

Kurnia, U., H. Suganda, D. Erfandi, H. Kusnadi. 2004. Teknologi konservasi tanah pada budi daya sayuran dataran tinggi dalam *Teknologi Konservasi Tanah Pada Lahan Kering Berlereng*, Eds. U. Kurnia, A. Rachman, dan Ai Dariah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.

Las, I., K. Subagyo, A. P. Setiyanto. 2006. Isu dan pengelolaan lingkungan dalam revitalisasi pertanian dalam *Prosiding Seminar Multifungsi dan Revitalisasi Pertanian*. Eds. Ai Dariah, N. L. Nuraida, Irawan, E. Husen, dan F. Agus. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.

Mulyawan, Iwan. 2004. Siklus Nitrogen dalam *Kumpulan Makalah Mata Kuliah Kualitas dan Pengelolaan Pencemaran Lingkungan*. Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, IPB.

Nazir, M. 1988. *Metode Penelitian*. Ghalia Indonesia. Jakarta.

Notodarmodjo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Penerbit ITB, Bandung.

Odum, E. P. 1971. *Fundamentals of ecology*. Third Ed. W. B. Saunders Company, Philadelphia Toppan Company. LTD, Tokyo.

Proyek Pembangunan Penelitian Pertanian Nusa Tenggara. 1992. *Petunjuk Bertanam Sayuran*. Penyunting: S. Kusumo dan H. Sunarjono. Jakarta.

Ramos, C., A. Agut, A. L. Lidon. 2002. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental Pollution*: 118, 215-223. Elsevier Science B. V.

Ramdhany, Dadan M. 2002. Kumpulan makalah Toksikologi Lingkungan. Program Magister, Program Studi Ilmu Lingkungan PPS UI. Jakarta (Tidak dipublikasikan)

Sanchez, Pedro A. 1976. *Properties and Management of Soils in The Tropics*, John Wiley & Sons, Inc., Canada.

- Santoso, D., A. Sofyan. 2002. Pengelolaan hara tanaman pada lahan kering dalam *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering, Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*, Eds. A. Adimihardja, Mappaona, dan A. Saleh. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sarwono, J. 2006. *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*. Edisi pertama. Penerbit Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Smith, R. F. 1976. *The Agroecosystem and pest management*. IRRI. IPC/SP6.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Departemen Ilmu Tanah IPB, Bogor.
- Stevenson, F. J. 1982. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*. John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Kusumo, Surachmat, H. Sunarjono. 1992. Petunjuk Bertanam Sayuran. Proyek Pembangunan Penelitian Pertanian Nusa Tenggara, Badan Litbang Pertanian. Jakarta.
- Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton, J. L. Havlin. 1999. *Soil Fertility And Fertilizers: an Introduction to Nutrient*, 6th ed. Pentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Tim Pakar Prima Tani. 2005. Kumpulan Teknologi Unggulan Pendukung Prima Tani. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Wardhana, Wisnu Arya. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan (Edisi Revisi)*, Ed. III. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Utama, H. W. 2007. *Keracunan Nitrit-Nitrat*. www.rewasit.eu. 14 hal. 27 Juni 2008, pk. 10.30 WIB.
- Yang, S., S. S. Malhi, J. R. Song, Y. C. Xiong, W. Y. Yue, L. Li Lu, J. G. Wang, T. W. Guo. 2006. Crop yield, nitrogen uptake and nitrat-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of Northwestern China. *Journal Nutr. Cycl. Agroecosist* 76:81-94.
- Yuningsih. 2007. Keracunan nitrat-nitrit pada ternak ruminansia dan upaya pencegahannya. *Jurnal Litbang Pertanian*, 26(4). Hal. 153-158.
- Zhang, W. L., Z. X. Tian, N. Zhang, X. Q. Li. 1996. Nitrate pollution of groundwater in northern China. *Agriculture, Ecosystem, and Environmental* 59, 223-231. Elsevier Science B. V.
- Ziebarth A. (1991), Well Water, Nitrates and the "Blue Baby" Syndrome Methemoglobinemia; NF: 91-49, Lincoln, NE; University of Nebraska Cooperative Extensio.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kuesioner yang digunakan pada penelitian dampak pemupukan N dosis tinggi pada usahatani sayuran dataran tinggi.

KUESIONER

DAMPAK PEMUPUKAN NITROGEN DOSIS TINGGI PADA USAHATANI SAYURAN DATARAN TINGGI

Nama responden :
Umur :
Desa :
Kecamatan :
Kabupaten :

Nama Enumerator :
Tanggal Wawancara :

PROGRAM PASCA SARJANA ILMU LINGKUNGAN
UNIVERSITAS INDONESIA
JULI 2008

I. PENGUASAAN LAHAN

Status Penguasaan	Pertanaman 1	Pertanaman 2	Pertanaman 3
1. Jenis Tanama			
2. Luas lahan yang digarap (ha)			
a. Milik			
b. Sakap			
c. Sewa			
d. Lainnya			
e. Total digarap (ha)			

Keterangan: Luas yang di catat adalah lahan yang ditanami sayuran pada lokasi yang diamati

II. TEKNOLOGI PEMUPUKAN TANAMAN

a. Jenis pupuk yang digunakan

No.	Jenis tanaman	Luas (ha;are,...)	Urea	ZA	NPK	Ppk kandang	Jemis pupuk (kg/luasan)			
1.						
2.										
3.										
4.										
5.										

b. Cara dan waktu pemberian

Jenis Tanaman	Jenis pupuk	Cara penggunaan ¹⁾	Waktu aplikasi ²⁾

Keterangan: 1) a. ditaruh dipermukaan tanah, b. ditugal, c. dilarutkan dengan air, d. lainnya (sebutkan)
2) a. 1 kali pemberian, b. 2 kali pemberian, c. 3 kali pemberian, 4. Lainnya (sebutkan)

III. ALASAN PETANI MENGGUNAKAN PUPUK BERLEBIHAN

3.1. Menurut bapak alasan apa yang menyebabkan bapak memupuk dengan jumlah berlebihan? (diisi nilai paling penting menurut petani 1-6)

- a. Tanah kurang subur (.....)
- b. Produksi Meningkat (.....)
- c. Harga sayuran tinggi (.....)
- d. Harga Pupuk Murah (.....)
- e. Pendapatan meningkat (.....)
- f. lainnya, sebutkan (.....)

IV. PENERAPAN TEKNIK KONSERVASI TANAH DAN AIR

No.	Teknik Konservasi Tanah	Ya/Tidak	Keterangan ¹⁾
1.	Teknik konservasi mekanik		
	Teras bangku+rumpuk		
	Teras gulud+rumpuk		
	Teras individu		
2.	Teknik Konservasi Vegetatif		
	Pertanaman lorong		
	Strip rumput		
	Mulsa		
	Pupuk hijau		
3.	Tanaman penutup tanah		
	Pola Tanam		
	Monokultur		
	Tumpang sari		
	Tumpang gilir		

Keterangan: 1) Sebutkan alasannya dan bila menanam rumput sebutkan jenis rumput yang ditanam

V. ANALISIS USAHATANI

Kegiatan	Tanaman 1		Tanaman 2		Tanaman 3	
	satuan	Rp./satuan	satuan	Rp./satuan	satuan	Rp./satuan
1. Biaya Bahan						
a. Benih/Bibit						
b. Pupuk						
a.						
b.						
c.						
d.						
e.						
c. Pestisida						
a.						
b.						
c.						
d. Pupuk kandang						
e. Tenaga kerja						
Hasil panen						

Lampiran 2. Data mentah hasil pengukuran nitrat di wilayah studi pada Musim Kemarau 2008.

No	kode	debit l/detik	debit m3/detik	kosentrasi mg/l	loaded mg/detik
1	U1	91.0	0.0910	14	1274
2	U2	51.0	0.0510	17	867
3	U3	48.0	0.0480	13	624
4	UK1	2.1	0.0021	42	88
5	UK2	1.7	0.0017	38	65
6	UK3	3.1	0.0031	43	132
7	M-S1	12.0	0.0120	34	408
8	M-S2	27.0	0.0270	28	756
9	M-S3	19.0	0.0190	28	532
11	M-K1	12.0	0.0120	21	252
12	M-K2	10.0	0.0100	22	220
13	M-K3	12.0	0.0120	34	408
14	L-KA1	65.0	0.0650	19	1235
15	L-KA2	25.0	0.0250	24	600
16	L-KA3	30.0	0.0300	31	930
17	L-KB1	30.0	0.0300	35	1050
18	L-KB2	91.0	0.0910	30	2730
19	L-KB3	80.0	0.0800	29	2320
20	L-S1	60.0	0.0600	35	2100
21	L-S2	53.0	0.0530	27	1431
22	L-S3	72.0	0.0720	23	1656
23	L-JA1	50.0	0.0500	37	1850
24	L-JA2	57.0	0.0570	38	2166
25	L-JA3	36.0	0.0360	36	1296
26	L-JB1	130.0	0.1300	25	3250
25	L-JB2	100.0	0.1000	25	2500
27	L-JB3	90.0	0.0900	24	2250
	Rata-rata	46.59	0.0466	28.59	1,221.9

Lampiran 3. Data mentah hasil pengukuran nitrat di wilayah studi pada Musim Hujan 2008.

No	kode	debit l/detik	debit m3/detik	kosentrasi mg/l	loaded mg/detik
1	U1	110.1	0.1101	6.59	726
2	U2	66.2	0.0662	6.21	411
3	U3	65.2	0.0652	6.00	391
4	UK1	3.5	0.0035	20.00	70
5	UK2	4.1	0.0041	17.27	71
6	UK3	5.8	0.0058	16.36	95
7	M-S1	27.7	0.0277	12.20	338
8	M-S2	62.0	0.0620	11.13	690
9	M-S3	52.0	0.0520	12.38	644
11	M-K1	26.1	0.0261	7.52	173
12	M-K2	19.2	0.0192	8.87	168
13	M-K3	17.9	0.0179	8.28	149
14	L-KA1	111.0	0.1110	7.31	808
15	L-KA2	69.0	0.0690	9.13	630
16	L-KA3	47.1	0.0471	14.13	665
17	L-KB1	104.8	0.1048	10.28	1,077
18	L-KB2	277.1	0.2771	8.15	2,259
19	L-KB3	164.3	0.1643	12.63	3,338
20	L-S1	80.0	0.080	8.11	657
21	L-S2	132.0	0.132	7.22	954
22	L-S3	140.0	0.140	5.41	763
23	L-JA1	81.8	0.0818	14.78	1,209
24	L-JA2	98.1	0.0981	12.84	2,236
25	L-JA3	104.7	0.1047	9.42	986
26	L-JB1	429.7	0.4297	10.70	4,597
25	L-JB2	412.9	0.4129	9.64	3,974
27	L-JB3	422.8	0.4228	10.91	4,613
28	Rata-rata	116.11	0.1161	10.50	1210.8

Lampiran 4. Anova dan perbedaan nilai rata-rata konsentrasi nitrat air sungai SUB DAS Klakah pada musim hujan 2008.

ANOVA

KONSENTRASI-MH

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	287.663	8	35.958	10.175	.000
Within Groups	63.613	18	3.534		
Total	351.276	26			

KONSENTRASI-MH

Duncan

LOKASI	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	1
U	3		6.267			
LS	3		6.913	6.913		
MK	3		8.223	8.223		
LKA	3			10.190	10.190	
LKB	3			10.353	10.353	
LJB	3			10.417	10.417	
MS	3				11.903	
LJA	3				12.347	
UK	3					17.877
Sig.			.243	.053	.221	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 5. Anova dan perbedaan nilai rata-rata debit air sungai SUB DAS Klakah pada musim hujan 2008.

ANOVA

DEBIT-MH

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	382175.814	8	47771.977	39.179	.000
Within Groups	21948.000	18	1219.333		
Total	404123.814	26			

DEBIT-MH

Duncan

LOKAS I	N	Subset for alpha = .05						
		1	2	3	4	5	6	1
UK	3	4.4667						
MK	3	21.0667	21.0667					
MS	3	47.2333	47.2333	47.2333				
LKA	3		75.7000	75.7000	75.7000			
U	3		80.5000	80.5000	80.5000			
LJA	3			94.8667	94.8667			
LS	3				117.3333			
LKB	3					182.0667		
LJB	3						421.8000	
Sig.		.172	.070	.141	.196	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 6. Anova dan perbedaan nilai rata-rata nitrat terbawa air sungai SUB DAS Klakah pada musim hujan 2008.

ANOVA

LOADED-MH

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	44908889.407	8	5613611.176	25.777	.000
Within Groups	3920034.667	18	217779.704		
Total	48828924.074	26			

LOADED-MH

Duncan

LOKASI	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	1
UK	3		78.667			
MK	3		163.333			
U	3		509.333			
MS	3		557.333			
LKA	3		701.000	701.000		
LS	3		791.333	791.333		
LJA	3			1477.000	1477.000	
LKB	3				2224.667	
LJB	3					4394.667
Sig.			.113	.068	.065	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 7. Anova dan perbedaan nilai rata-rata Konsentrasi nitrat air sungai SUB DAS Klakah pada musim kemarau 2008.

ANOVA

KONSENTRASI-MK

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1402.519	8	175.315	9.800	.000
Within Groups	322.000	18	17.889		
Total	1724.519	26			

KONSENTRASI-MK

Duncan

LOKASI	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	1
U	3		14.6667			
LKA	3			24.6667		
LJB	3			24.6667		
MK	3			25.6667		
LS	3			28.3333		
MS	3			30.0000	30.0000	
LKB	3			31.3333	31.3333	
LJA	3				37.0000	37.0000
UK	3					41.0000
Sig.			1.000	.102	.070	.262

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 8. Anova dan perbedaan nilai rata-rata debit air sungai sungai SUB DAS Klakah pada musim kemarau 2008.

ANOVA

DEBIT-MK

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	25576.707	8	3197.088	10.252	.000
Within Groups	5613.040	18	311.836		
Total	31189.747	26			

DEBIT-MK

Duncan

LOKASI	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
UK	3	2.3000				
MK	3	11.3333	11.3333			
MS	3	19.3333	19.3333	19.3333		
LKA	3		40.0000	40.0000	40.0000	
LJA	3			47.6667	47.6667	
LS	3				61.6667	
U	3				63.3333	
LKB	3				67.0000	
LJB	3					106.6667
Sig.		.278	.075	.078	.108	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 9. Anova dan perbedaan nilai rata-rata nitrat terbawa air sungai SUB DAS Klakah pada musim kemarau 2008.

ANOVA

LOADED-MK

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18142708.741	8	2267838.593	12.764	.000
Within Groups	3198018.667	18	177667.704		
Total	21340727.407	26			

LOADED-MK

Duncan

LOKASI	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	1
UK	3		95.00			
MK	3		293.33	293.33		
MS	3		565.33	565.33		
U	3			921.67		
LKA	3			921.67		
LS	3				1729.00	
LJA	3				1770.67	
LKB	3				2033.33	2033.33
LJB	3					2666.67
Sig.			.212	.110	.414	.082

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Lampiran 10. Daftar Kriteria Kualitas Air golongan A menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 1990 tanggal 5 Juni 1990.

No.	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	Keterangan
	FISIKA			
1.	Bau	-		Tidak berbau
2.	Jumlah zat padat terlarut	mg/l	1.000	
3.	Kekeruhan	Skala NTU	5	
4.	Rasa	-	-	Tidak berasa
5.	Suhu	°C	Suhu udara	
6.	Warna	Skala TCU	15	
	KIMIA			
	A. Anorganik			
1.	Air raksa	mg/l	0,001	
2.	Aluminium	mg/l	0,2	
3.	Arsen	mg/l	0,05	
4.	Barium	mg/l	1,0	
5.	Besi	mg/l	0,3	
6.	Fluorida	mg/l	0,5	
7.	Kadmium	mg/l	0,005	
8.	Kesadahan CaCO ₃	mg/l	500	
9.	Klorida	mg/l	250	
10.	Kromium valensi 6	mg/l	0,05	
11.	Mangan	mg/l	0,1	
12.	Natrium	mg/l	200	
13.	Nitrat, sebagai N	mg/l	10	
14.	Nitrit, sebagai N	mg/l	1,0	
15.	Perak	mg/l	0,05	
16.	pH	-	6,5-8,5	Merupakan batas maksimum dan minimum
17.	Selenium	mg/l	0,01	
18.	Seng	mg/l	5	
19.	Sianida	mg/l	0,1	
20.	Sulfat	mg/l	400	
21.	Sulfida, sebagai H ₂ S	mg/l	0,05	
22.	Tembaga	mg/l	1,0	

Lanjutan Lampiran 10

23.	Timbal	mg/l		
B. KIMIA ORGANIK				
1.	Aldrin dan dieldrin	mg/l	0,0007	
2.	Benzene	mg/l	0,01	
3.	Benzo (a) pyrene	mg/l	0,00001	
4.	Chlordane (total isomer)	mg/l	0,0003	
5.	Chloroform	mg/l	0,03	
6.	2,4 D	mg/l	0,1	
7.	DDT	mg/l	0,03	
8.	Detergen	mg/l	0,05	
9.	1,2-Dichloroethene	mg/l	0,01	
10.	Heptachlor dan heptachlor epoxide	mg/l	0,03	
11.	Hexachlorobenzene	mg/l	0,003	
12.	Lindane	mg/l	0,004	
13.	Methoxychlor	mg/l	0,03	
14.	Pentachlorophenol	mg/l	0,01	
15.	Pestisida total	mg/l	0,1	
16.	1,4,6-Trichlorophenol	mg/l	0,001	
17.	Zat organic (KMn) ₄	mg/l	10	
MIKROBIOLOGI				
1.	Koliform tinja	Jumlah per 100 mml	0	
2.	Total Koliform	Jumlah per 100 ml	3	
RADIOAKTIVITAS				
1.	Aktivitas Alpha (Gross Alpha Activity)	Bq/l	0,1	

Keterangan:

mg: milligram

ml: mililiter

l: liter

bQ: Bequerel

NTU: Nephelometric Turbidity Units

TCU: True Colour nits

Logam berat merupakan logam terlarut.