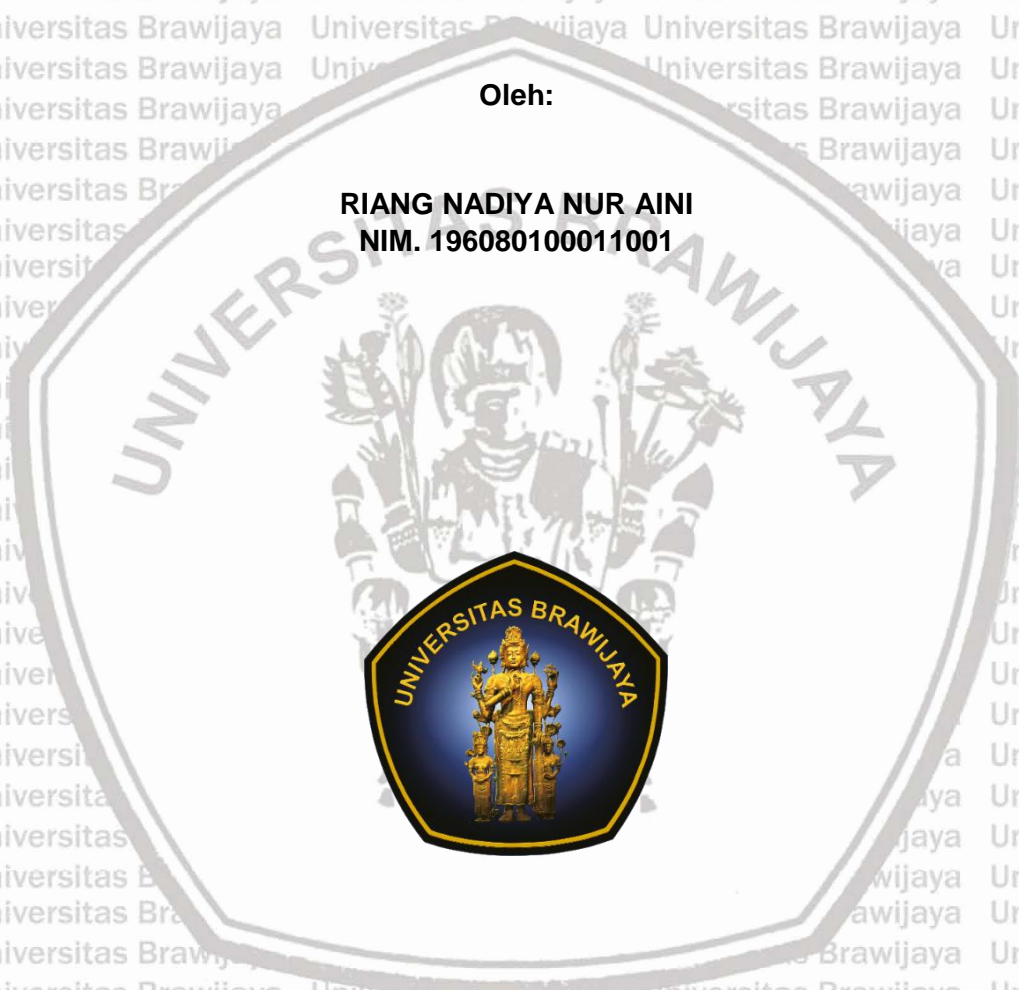


**ANALISIS STATUS PENCEMARAN PERAIRAN DAN KESEHATAN  
IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*) DI HILIR SUNGAI REJOSO,  
KABUPATEN PASURUAN, JAWA TIMUR**

TESIS  
PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN  
MINAT LINGKUNGAN

Oleh:

**RIANG NADIYA NUR AINI  
NIM. 196080100011001**



**PROGRAM PASCASARJANA  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2021**

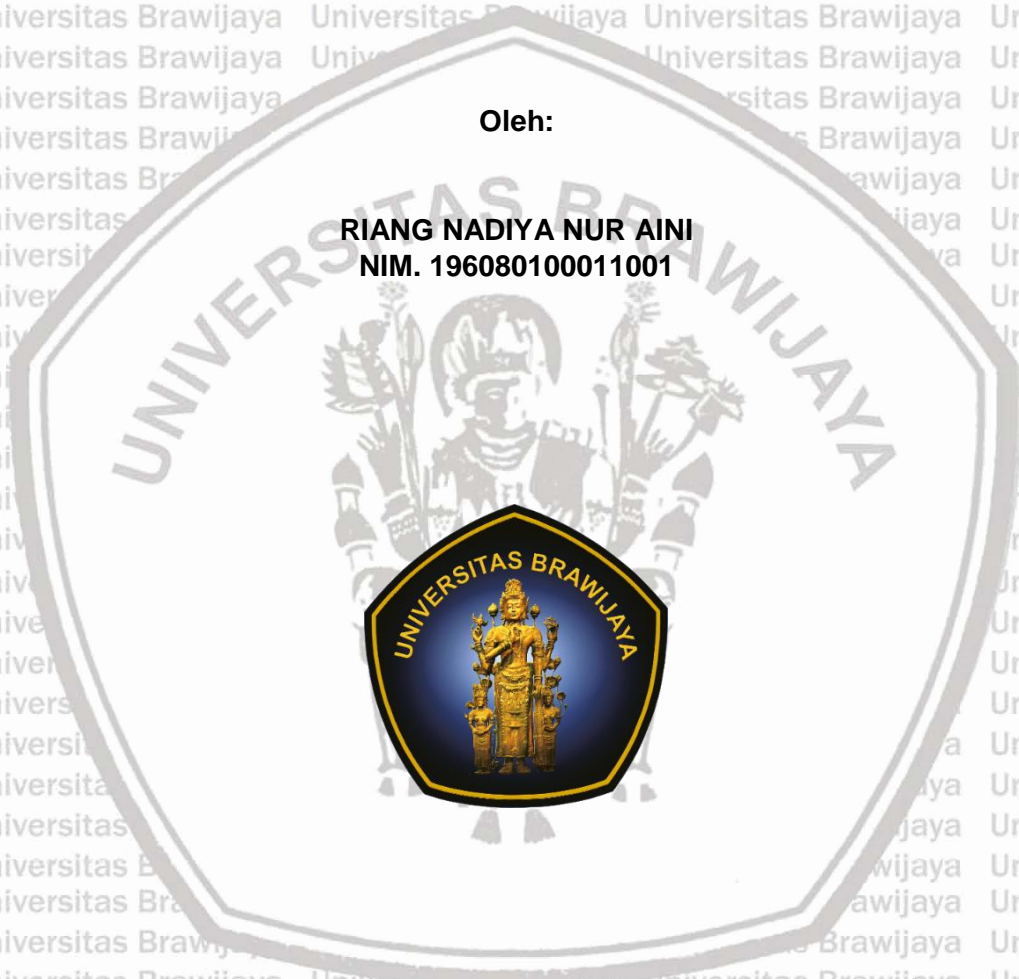
**ANALISIS STATUS PENCEMARAN PERAIRAN DAN KESEHATAN  
IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*) DI HILIR SUNGAI REJOSO,  
KABUPATEN PASURUAN, JAWA TIMUR**

**TESIS**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Magister Perikanan  
di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan  
Universitas Brawijaya**

Oleh:

**RIANG NADIYA NUR AINI  
NIM. 196080100011001**



**PROGRAM PASCASARJANA  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2021**

TESIS

**ANALISIS STATUS PENCEMARAN PERAIRAN DAN KESEHATAN IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*) DI HILIR SUNGAI REJOSO, KABUPATEN PASURUAN, JAWA TIMUR**

Oleh:

**RIANG NADIYA NUR AINI**  
**NIM. 196080100011001**

Telah dipertahankan di depan penguji  
pada tanggal ...  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,

Komisi Pembimbing

Ketua

Anggota



**Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H, MS**  
**NIP. 19570704 198403 2 001**  
**Tanggal: 03 / 01 / 2022**

**Prof. Dr. Ir. Maftuch, M.Si**  
**NIP. 19660825 199203 2 001**  
**Tanggal: 03 / 01 / 2022**

Komisi Penguji

Penguji I

Penguji II



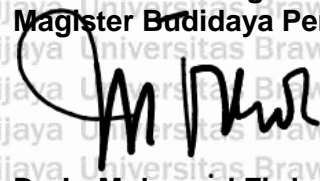
**Prof. Dr. Ir. Muhammad Musa, MS**  
**NIP. 19570507 198602 1 002**  
**Tanggal: 03 / 01 / 2022**

**Dr. Yunita Maimunah, S.Pi., M.Sc**  
**NIP. 19780625 200501 2 002**  
**Tanggal: 03 / 01 / 2022**

Mengetahui,

Dekan  
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan

Ketua Program  
Magister Budidaya Perairan



**Prof. Dr. Ir. Maftuch, M.Si**  
**NIP. 19660825 199203 2 001**  
**Tanggal: 03 / 01 / 2022**

**Dr. Ir. Muhammad Firdaus, M.P**  
**NIP. 19680919 200501 1 001**  
**Tanggal: 03 / 01 / 2022**



**PERNYATAAN ORISINALITAS**

Dengan ini Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riang Nadiya Nur Aini

NIM : 196080100011001

Judul Skripsi : Analisis Status Pencemaran Perairan dan Kesehatan Ikan Nila  
(*Oreochromis niloticus*) di Hilir Sungai Rejoso, Kabupaten  
Pasuruan, Jawa Timur

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan laporan tesis ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah, tabel, gambar maupun ilustrasi lainnya yang tercantum sebagai bagian dari tesis. Jika terdapat karya / pendapat / penelitian dari orang lain, maka saya telah mencantumkan sumber yang jelas dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Brawijaya, Malang.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa adanya paksaan dari pihak manapun.

Malang, 28 Desember 2021



Riang Nadiya Nur Aini

NIM. 196080100011001

## IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul : Analisis Status Pencemaran Perairan dan kesehatan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Hilir Sungai Rejoso, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur

Nama Mahasiswa : Riang Nadiya Nur Aini

NIM : 196080100011001

Program Studi : Budidaya Perairan

### KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H, MS

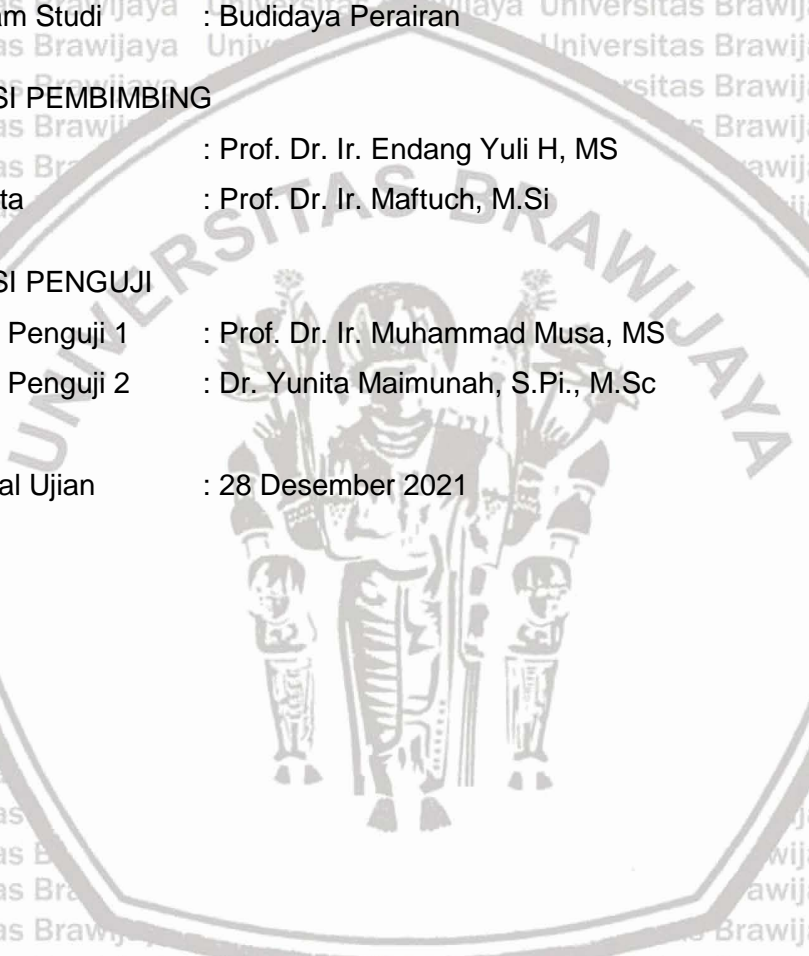
Anggota : Prof. Dr. Ir. Maftuch, M.Si

### KOMISI PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Muhammad Musa, MS

Dosen Penguji 2 : Dr. Yunita Maimunah, S.Pi., M.Sc

Tanggal Ujian : 28 Desember 2021



## RINGKASAN

**RIANG NADIYA NUR AINI.** Analisis Status Pencemaran Perairan dan Kesehatan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Hilir Sungai Rejoso, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur (dibawah bimbingan **Prof. Dr. Ir. Endang Yuli H, MS** dan **Prof. Dr. Ir. Maftuch, M.Si**)

---

Daerah hilir Sungai Rejoso telah mengalami penurunan kondisi kualitas air dan pencemaran logam berat akibat buangan limbah yang berasal dari kegiatan industri, rumah tangga, pertanian dan perikanan. Hal tersebut dikhawatirkan dapat mengganggu kesehatan ikan nila yang hidup di daerah hilir Sungai Rejoso. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis status pencemaran perairan berdasarkan parameter kualitas air, menganalisis kesehatan ikan nila melalui hematologi dan histologi organ serta mengkaji hubungan parameter kualitas air dengan kesehatan ikan nila. Penelitian dilaksanakan pada bulan April-September 2021 di hilir Sungai Rejoso, Pasuruan. Metode yang digunakan yaitu metode survei dengan analisis data secara deskriptif. Teknik pengumpulan data dan penentuan lokasi penelitian menggunakan *Purposive sampling*. Sampling dilakukan pada 3 stasiun dengan 9 titik pengamatan. Pengambilan sampel penelitian dilakukan sebanyak 3 kali dengan selang waktu 1 bulan sekali. Parameter yang diamati yaitu suhu, kecepatan arus, kecerahan dan TSS, pH, DO, COD, TOM, Alkalinitas, Nitrat dan Ortofosfat dan logam berat Cd. Sampel ikan yang digunakan yaitu ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebanyak 9 ekor. Pengamatan kesehatan ikan meliputi profil hematologi (eritrosit, leukosit, haemoglobin), mikronuklei dan histologi (insang, hati dan ginjal). Metode penentuan status pencemaran menggunakan metode STORET dan analisis data regresi linier sederhana dan korelasi. Parameter yang melebihi baku mutu PP 22 Tahun 2021 yaitu TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd. Hasil skoring metode STORET yaitu -66 artinya hilir Sungai Rejoso berstatus tercemar berat. Jumlah eritrosit sebesar  $936.667 - 1.476.667 \text{ sel/mm}^3$ , jumlah leukosit sebesar  $97.917 - 156.267 \text{ sel/mm}^3$ , kadar hemoglobin sebesar  $4.3 - 7.9 \text{ g\%}$  dan jumlah mikronuklei sebesar  $21 - 40 \text{ sel/1000}$ . Status kerusakan histologi organ insang, ginjal dan hati yaitu rusak sedang dengan persentase  $50 \leq P < 75\%$ . Analisis data regresi linier antara parameter kualitas air dengan parameter hematologi didapatkan hasil TSS tidak berpengaruh dengan parameter hematologi ( $\text{Sig.} > 0.05$ ), TOM, Alkalinitas dan Cd berpengaruh signifikan terhadap jumlah leukosit dan mikronuklei ( $\text{Sig.} < 0.05$ ), sedangkan TOM dan Cd berpengaruh terhadap jumlah eritrosit dan kadar hemoglobin dan berkorelasi kuat. Analisis data regresi linier antara parameter kualitas air dengan histologi organ insang, ginjal dan hati ikan nila didapatkan hasil hanya TOM dan Cd yang berpengaruh signifikan dengan histologi insang ( $\text{Sig.} < 0.05$ ) dan berkorelasi kuat, sedangkan parameter yang lain tidak berpengaruh terhadap histologi ginjal dan hati ( $\text{Sig.} > 0.05$ ). Analisis data antara kadar Cd pada organ dengan histologi organ berpengaruh signifikan ( $\text{Sig.} < 0.05$ ) dengan korelasi kuat. Dapat disimpulkan bahwa perairan Hilir Sungai Rejoso berstatus tercemar berat dengan parameter yang melebihi baku mutu yaitu TSS,

TOM, Alkalinitas dan Cd. Status kesehatan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yaitu ikan kurang sehat dengan tingkat kerusakan organ sedang. Saran yang dapat diberikan yaitu perlu dihimbau kepada pemerintah, masyarakat dan pemilik industri yang berada di sekitar aliran Sungai Rejoso untuk tidak membuang sampah secara langsung ke sungai. Perlu dihimbau juga kepada masyarakat sekitar untuk lebih berhati-hati dalam mengkonsumsi ikan nila yang ditangkap dari Sungai Rejoso karena kandungan logam berat Cd pada ikan tinggi.

**Kata kunci:** Leukosit, eritrosit, hemoglobin, mikronuklei, signifikan, regresi



## SUMMARY

**RIANG NADIYA NUR AINI.** Analysis of Water Pollution Status and Health of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the downstream river, Pasuruan Regency, East Java (under guidance of **Prof. Dr. Ir. Endang Yuli Herawati, MS** and **Prof. Dr. Ir. Maftuch, M.Si**)

---

Rejoso River has experienced decreasing in water quality conditions and heavy metal pollution due to waste disposal originating from industrial, household, agricultural, and fishery activities. It quails that it could interfere with the health of tilapia that live in the lower reaches of the Rejoso River. The purpose of this study was to analyze the status of water pollution based on water quality parameters, analyze the health of tilapia through hematology and organ histology, and examine the relationship between water quality parameters and the health of tilapia. The research conducts in April-September 2021 downstream of the Rejoso River, Pasuruan. The method used is the survey method with descriptive data analysis. The technique of collecting data and determining the research location used purposive sampling. Sampling carries out at three stations with nine observation points. The research sample takes three times with an interval of 1 month. Parameters observed were temperature, current velocity, brightness and TSS, pH, DO, COD, TOM, Alkalinity, Nitrate and Orthophosphate, and heavy metal Cd. The fish samples used were tilapia (*Oreochromis niloticus*) as much as nine tails. Fish health observations included hematological profiles (erythrocytes, leukocytes, and hemoglobin), micronuclei, and histology (gills, liver, and kidneys). The method of determining the status of pollution uses the STORET method. The data analysis used is simple linear regression. The results obtained are parameters that exceed the quality standards of PP 22 of 2021, namely TSS, TOM, Alkalinity, and Cd. The results of the STORET scoring method are -66, meaning that the downstream of the Rejoso River are heavily polluted. The health status of tilapia is less healthy fish. The number of erythrocytes is 936.667 – 1.476.667 cells/mm<sup>3</sup>, the number of leukocytes is 97.917 – 156.267 cells/mm<sup>3</sup>, the hemoglobin content is 4.3-7.9 g%. The number of micronuclei is 21-40 cells/1000. The total histological damage to the gills, kidneys, and liver has status damage moderate with a percentage of 50≤P<75%. Analysis of linear regression data between water quality parameters and hematological parameters showed that TSS had no effect on hematological parameters (Sig.> 0.05), TOM, Alkalinity and Cd had a significant effect on the number of leukocytes and micronuclei (Sig. <0.05), while TOM and Cd had a significant effect on on the number of erythrocytes and hemoglobin levels and strongly correlated. Analysis of linear regression data between water quality parameters and histology of gill organs, kidneys and liver of tilapia showed that only TOM and Cd had a significant effect on gill histology (Sig.<0.05) and were strongly correlated, while the other parameters had no effect on kidney and liver histology (Sig.>0.05). heart. Data analysis between Cd levels in organs and organ histology had a significant effect (Sig.<0.05) with a strong correlation. It concludes



that the downstream of Rejoso River indicate heavy pollution with parameters that exceed the quality standards, namely TSS, TOM, Alkalinity, and Cd. The health status of tilapia (*Oreochromis niloticus*) is an unhealthy fish with a moderate level of organ damage. Suggestions that are giving necessary to appeal to the government, community, and industrial owners who are around the Rejoso River flow not to throw garbage directly into the river. It is also necessary to appeal to the surrounding community to be more careful in consuming tilapia caught from the Rejoso River because the heavy metal content of Cd in fish is high.

**Keywords:** Leukocytes, erythrocytes, hemoglobin, micronuclei, significant, regression



DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>i</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>ii</b>
<b>IDENTITAS TIM PENGUJI</b> .....	<b>iii</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>iv</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>v</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Profil Sungai Rejoso Pasuruan.....	6
2.2 Hilir Sungai.....	7
2.3 Pencemaran Air Sungai Rejoso .....	8
2.4 Biomonitoring Perairan.....	9
2.5 Deskripsi Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) .....	10
2.5.1 Klasifikasi dan Morfologi Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) .....	10
2.5.2 Biologi dan Habitat Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	12
2.6 Parameter Kualitas Air .....	13
2.6.1 Parameter Fisika Air .....	13
2.6.2 Parameter Kimia Air.....	18
2.7 Logam Berat .....	25
2.7.1 Pencemaran Logam Berat Kadmium (Cd).....	26
2.7.2 Mekanisme Kontaminasi Logam Berat pada Ikan .....	27
2.8 Hematologi.....	28
2.8.1 Sel Darah Merah (Eritrosit) .....	29
2.8.2 Sel Darah Putih (Leukosit) .....	31
2.8.3 Hemoglobin (Hb) .....	32





2.9	Mikronuklei.....	33
2.10	Histologi.....	36
2.10.1	Insang.....	37
2.10.2	Ginjal.....	38
2.10.3	Hati.....	40
2.11	Baku Mutu Air.....	43
2.11.1	Metode STORET.....	44
<b>BAB III KERANGKA PENELITIAN.....</b>		<b>46</b>
3.1	Kerangka Konsep Penelitian.....	46
3.2	Kerangka Operasional Penelitian.....	49
3.3	Kebaharuan Penelitian.....	51
3.4	Strategi Publikasi.....	53
<b>BAB IV METODE PENELITIAN.....</b>		<b>54</b>
4.1	Materi Penelitian.....	54
4.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	54
4.3	Alat dan Bahan.....	55
4.4	Metode Penelitian.....	55
4.4.1	Pengumpulan Data.....	56
4.4.2	Penentuan Stasiun Pengamatan.....	56
4.5	Teknik Pengambilan Sampel.....	58
4.6	Kegiatan di Lapang.....	58
4.6.1	Pengukuran Parameter Kualitas Air.....	58
4.6.2	Pengambilan Sampel Ikan.....	59
4.7	Kegiatan di Laboratorium.....	59
4.7.1	Pembedahan Sampel Ikan.....	59
4.7.2	Pengambilan Sampel Organ Ikan.....	59
4.8	Analisis Parameter Kualitas Air.....	60
4.8.1	Suhu.....	60
4.8.2	Kecepatan Arus.....	61
4.8.3	Kecerahan.....	61
4.8.4	Total Suspended Solid (TSS).....	62
4.8.5	Derajat Keasaman (pH).....	63
4.8.6	Dissolved Oxygen (DO).....	63
4.8.7	Chemical Oxygen Demand (COD).....	64
4.8.8	Total Organic Matter (TOM).....	65
4.8.9	Nitrat.....	66
4.8.10	Ortofosfat.....	67
4.8.11	Alkalinitas.....	67
4.9	Analisis Logam Berat Kadmium (Cd) pada Air Sungai.....	68
4.10	Analisis Logam Berat Kadmium (Cd) pada Organ Ikan.....	69
4.11	Analisis Hematologi Ikan.....	69
4.11.1	Proses Pengambilan Darah Ikan.....	69
4.11.2	Pengamatan Jumlah Sel Darah Merah (Eritrosit).....	70
4.11.3	Pengamatan Jumlah Sel Darah Putih (Leukosit).....	70
4.11.4	Perhitungan Hemoglobin (Hb).....	71
4.11.5	Pengamatan Mikronuklei Sel Darah Ikan.....	72
4.12	Analisis Histologi Ikan.....	73
4.12.1	Proses Pengambilan Sampel Organ Ikan.....	73
4.12.2	Proses Pembuatan Preparat Histologi.....	73

4.11.3	Pengolahan Data Kerusakan Sel dengan Software Olyvia.....	76
4.11.4	Skoring Kerusakan Histologi Ikan .....	77
4.12	Analisis Data .....	77
4.12.1	Standart Baku Mutu Air.....	78
4.12.2	Metode STORET .....	79
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>81</b>
5.1	Keadaan Umum Lokasi Penelitian .....	81
5.1.1	Stasiun 1 .....	82
5.1.2	Stasiun 2 .....	83
5.1.3	Stasiun 3 .....	83
5.2	Analisa Morfologi Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	84
5.3	Analisis Kualitas Air .....	85
5.3.1	Parameter Fisik .....	86
5.3.2	Parameter Kimia.....	91
5.4	Status Pencemaran Perairan di Hilir Sungai Rejoso.....	101
5.5	Logam Berat Kadmium (Cd) Organ Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	103
5.5.1	Insang.....	103
5.5.2	Ginjal.....	104
5.5.3	Hati.....	105
5.6	Kondisi Kesehatan Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) .....	107
5.6.1	Kondisi Hematologi Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	107
5.6.2	Kondisi Histologi Organ Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) .....	114
5.7	Analisis Data .....	133
5.7.1	Uji Regresi dan Korelasi .....	133
<b>BAB VI KESIMPULAN.....</b>		<b>145</b>
6.1	Kesimpulan .....	145
6.2	Saran .....	146
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>147</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>164</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Referensi penelitian terdahulu .....	51
4. Lokasi titik sampling pengamatan .....	57
5. Kategori kerusakan sel histologi .....	77
6. Nilai baku mutu air .....	79
7. Penentuan sistem nilai untuk menentukan status mutu air .....	80
8. Penentuan standar mutu air berdasarkan total skor .....	80
9. Skoring STORET .....	102
10. Kerusakan jaringan pada organ insang ikan nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) ..	114
11. Kerusakan jaringan pada organ ginjal ikan nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	121
12. Kerusakan jaringan pada organ hati ikan nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) .....	127
13. Uji regresi antara parameter kualitas air dengan sel darah merah .....	134
14. Uji regresi antara parameter kualitas air dengan sel darah putih.....	136
15. Uji regresi antara parameter kualitas air dengan hemoglobin.....	137
16. Uji regresi antara parameter kualitas air dengan mikronuklei .....	139
17. Uji regresi antara parameter kualitas air dengan histologi organ insang ....	140
18. Uji regresi antara parameter kualitas air dengan histologi organ ginjal.....	142
19. Uji regresi antara parameter kualitas air dengan histologi organ hati .....	142
20. Uji regresi linier Cd organ dengan total kerusakan histologi organ .....	143



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sungai Rejoso .....	7
2. Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) .....	11
3. Komponen-komponen sel darah merah pada ikan .....	30
4. Komponen-komponen sel darah putih pada ikan .....	32
5. Mikronuklei pada ikan .....	34
6. Kelainan inti sel .....	35
7. Kelainan inti sel .....	35
8. Pembentukan mikronuklei .....	36
9. Histologi insang ikan nila normal .....	37
10. Histologi insang ikan nila yang mengalami kerusakan .....	38
11. Histologi ginjal ikan nila normal .....	39
12. Histologi ginjal ikan nila yang mengalami kerusakan .....	40
13. Histologi hati ikan nila normal .....	40
14. Histologi hati ikan nila normal .....	41
15. Histologi hati ikan nila yang mengalami kerusakan .....	42
16. Histologi hati ikan nila yang mengalami kerusakan .....	42
17. Kerangka Konsep Penelitian .....	48
18. Kerangka Operasional Penelitian .....	50
19. Proses pembuatan preparat histologi .....	76
20. Pengolahan data kerusakan sel dengan software Olyvia .....	76
21. Lokasi pengamatan stasiun 1 .....	82
22. Lokasi pengamatan stasiun 2 .....	83
23. Lokasi pengamatan stasiun 3 .....	84
24. Ikan nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) di Hilir Sungai Rejoso .....	85
25. Suhu .....	86
26. Kecerahan .....	87
27. Kecepatan arus .....	88
28. <i>Total Suspended Solid</i> (TSS) .....	90
29. Derajat keasaman (pH) .....	91
30. <i>Dissolved oxygen</i> (DO) .....	92
31. <i>Chemical oxygen demand</i> (COD) .....	94
32. <i>Total organic matter</i> (TOM) .....	95
33. Nitrat .....	96
34. Ortofosfat .....	98
35. Alkalinitas .....	99
36. Konsentrasi Kadmium (Cd) di air .....	100
37. Konsentrasi Cd pada organ insang .....	103
38. Konsentrasi Cd pada organ ginjal .....	104
39. Konsentrasi Cd pada organ hati .....	105
40. Jumlah sel darah merah (Eritrosit) .....	107
41. Sel darah putih (Leukosit) .....	109
42. Jumlah haemoglobin (Hb) .....	110
43. Mikronuklei .....	112
44. Mikronuklei ikan nila (A); Mikronuklei hasil penelitian (B) .....	113
45. Histologi insang ikan nila normal (A); Kerusakan nekrosis (B) .....	117
46. Histologi insang ikan nila normal (A); Kerusakan kongesti (B) .....	118



47. Histologi insang ikan nila normal (A); Kerusakan hiperplasia (B) .....	120
48. Histologi ginjal ikan nila normal (A); Kerusakan nekrosis (B).....	123
49. Histologi ginjal ikan nila normal (A) ; Kerusakan kongesti (B) .....	124
50. Histologi ginjal ikan nila normal (A); Kerusakan degenerasi (B) .....	126
51. Histologi hati ikan nila normal (A); Kerusakan nekrosis (B) .....	129
52. Histologi hati ikan nila normal (A); Kerusakan kongesti (B) .....	131
53. Histologi hati ikan nila normal (A); Kerusakan degenerasi (B).....	132



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian .....	164
2. Alat dan Bahan Penelitian.....	165
3. Hasil pengukuran parameter kualitas air.....	168
4. Skoring penentuan status pencemaran hilir Sungai Rejoso.....	170
5. Data hasil pengamatan parameter hematologi pada ikan nila.....	172
6. Data hasil pengamatan histologi organ pada ikan nila.....	174
7. Analisis data uji regresi linier sederhana parameter hematologi.....	175
8. Analisis data uji regresi linier sederhana histologi organ.....	183
9. Analisis data uji regresi linier logam berat Cd organ dan histologi organ.....	189
10. Dokumentasi penelitian di lapang dan di laboratorium.....	191





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan suatu perairan yang memiliki peran penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup yang lain. Sungai adalah salah satu sumber air yang digunakan oleh manusia untuk berbagai aktivitas dalam kehidupan sehingga air akan mempengaruhi dan dipengaruhi oleh kondisi komponen lainnya. Perairan sungai terbagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian hulu, bagian tengah dan bagian hilir. Aliran sungai mengalir dari bagian hulu menuju ke bagian hilir dan bermuara ke laut (Brotowidjoyo *et al.*, 1995). Ekosistem sungai dapat memberikan manfaat bagi makhluk hidup, baik yang hidup di dalam sungai maupun di sekitarnya.

Sungai sebagai salah satu jenis media hidup bagi organisme perairan seringkali tidak dapat terhindarkan dari masalah penurunan kualitas perairan sebagai akibat dari perkembangan aktivitas manusia, seperti adanya aktivitas perindustrian yang berdiri di sekitar daerah aliran sungai. Hal tersebut terus dibiarkan terjadi maka akan berdampak pada penurunan kualitas air, yaitu dengan adanya perubahan kondisi fisika, kimia maupun biologi. Selain terjadinya penurunan kualitas air, juga akan berdampak pada terganggunya kondisi organisme yang ada di dalam ekosistem sungai tersebut.

Sungai Rejoso merupakan salah satu sungai besar yang terletak di Kecamatan Rejoso, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Sungai Rejoso menjadi salah satu contoh sungai yang mempunyai banyak aktivitas perindustrian di daerah sekitar alirannya, seperti adanya pabrik MSG (*Monosodium glutamate*), garmen, pabrik pupuk dan pabrik gula. Akibat dari banyaknya aktivitas penduduk di sekitar sungai seperti pertanian, perikanan, kegiatan rumah tangga dan industri maka dapat memberikan dampak yang buruk bagi kualitas air Sungai Rejoso itu sendiri.

Jika tidak segera dikendalikan maka kandungan logam berat yang terdapat pada limbah akan memberikan pengaruh yang buruk pada ikan, periphyton dan organisme yang hidup pada ekosistem sungai (Harsono, 2015).

Logam berat merupakan salah satu jenis zat polutan lingkungan yang paling umum dijumpai dalam perairan. Logam berat juga dapat berdampak negatif terhadap manusia yang menggunakan air tersebut dan organisme yang ada di dalam sungai. Terdapatnya kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia (Kamarati *et al.*, 2018). Kegiatan industri yang intensif dan aktivitas manusia telah banyak mengakibatkan pelepasan limbah logam berat ke lingkungan perairan (Karbassi *et al.*, 2008). Logam berat juga dapat berpindah dari lingkungan ke organisme dan dari organisme satu ke organisme lain melalui rantai makanan (Yalcin *et al.*, 2008).

Berdasarkan hasil dari penelitian terdahulu, salah satu jenis logam berat yang memiliki nilai pencemaran tinggi di hilir Sungai Rejoso yaitu Kadmium (Cd). Kadmium (Cd) merupakan jenis logam berat yang banyak ditemui di perairan. Dampak negatif dari Cd pada tubuh ikan yaitu menyebabkan kerusakan pada ginjal, mengganggu pertumbuhan dan reproduksi ikan (Wijayanti, 2017). Menurut Masriadi (2019), di lingkungan perairan sumber utama kontaminasi Cd yaitu melalui lapisan bumi dan aktivitas manusia (antropogenik). Sumber utama kontaminasi Cd yaitu daerah-daerah perindustrian. Berdasarkan PP RI Nomor 22 Tahun 2021 Kelas III untuk baku mutu logam berat Cd adalah 0,01 mg/L.

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan salah satu organisme yang dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran. Ikan tersebut dapat digunakan sebagai bioindikator perairan karena mempunyai beberapa keunggulan yakni memiliki toleransi luas terhadap kualitas lingkungan, memiliki kemampuan tumbuh yang baik dan memiliki resistensi kualitas air dan penyakit (Oktapiandi *et al.*, 2019).

Jika ikan terus-menerus terpapar oleh kandungan logam berat ataupun bahan pencemar yang lain maka dapat mengganggu dan merusak organ yang ada di dalamnya. Kandungan logam berat yang masuk ke dalam tubuh ikan dapat mempengaruhi sel-sel darah merah dan dapat menurunkan sintesis haemoglobin.

Organ yang sensitif terhadap pencemaran lingkungan yaitu organ insang, ginjal dan hati. Insang merupakan organ utama yang berperan dalam pertukaran ion yang bekerja dengan mekanisme difusi permukaan dari gas-gas respirasi antara darah dan air, sehingga perubahan yang terjadi di lingkungan perairan akan secara langsung berdampak pada struktur jaringannya. Ginjal merupakan organ yang berperan penting dalam pengaturan elektrolit dan keseimbangan air serta memproduksi sel-sel imunologi dalam *barrier* ketika logam berat masuk ke dalam tubuh ikan, sedangkan organ hati sebagai tempat akumulasi logam berat (Mandia *et al.*, 2013). Perlu adanya informasi mengenai status pencemaran perairan dan kesehatan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai biomarker lingkungan perairan untuk pengelolaan agar ekosistem tetap seimbang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Banyaknya jumlah penduduk dan semakin berkembangnya aktivitas yang dilakukan oleh warga di sekitar hilir Sungai Rejoso, Pasuruan dapat menyebabkan bertambah pula jumlah limbah yang masuk ke dalam perairan sungai tersebut. Tidak terkontrolnya jumlah limbah atau polutan yang masuk ke dalam perairan sungai menjadikan bertambahnya kandungan logam berat yang mencemari sungai tersebut. Hal tersebut dapat mempengaruhi kesehatan organisme akuatik serta menurunkan kondisi kualitas air sungai dan peran sungai dalam menunjang keseimbangan ekosistem di Sungai Rejoso, Pasuruan apabila tidak segera ditanggulangi.

Berdasarkan hasil dari uji pendahuluan pada logam berat Timbal (Pb), Merkuri (Hg) dan Kadmium (Cd) yang telah dilakukan pada bulan Maret 2021, di dapatkan nilai logam berat dengan nilai tertinggi di hilir Sungai Rejoso adalah Kadmium (Cd) dengan nilai 0.55 mg/L. Nilai tersebut dapat dikatakan bahwa kandungan logam berat Cd di hilir Sungai Rejoso melebihi nilai baku mutu yang telah ditetapkan oleh PP RI Nomor 22 Tahun 2021 yaitu 0.01 mg/L. Tingginya kandungan Cd di bagian Hilir Sungai Rejoso bisa disebabkan karena banyaknya buangan limbah khususnya limbah industri yang masuk ke dalam aliran sungai tersebut. Paparan logam berat Cd yang terlalu tinggi dalam perairan sungai dapat mempengaruhi kesehatan ikan khususnya ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dapat ditinjau melalui pengamatan profil darah (hematologi) dan juga histologi organ pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*).

Melakukan pengamatan dan pengujian pada kualitas air melalui pengamatan parameter fisika dan kimia air, serta pengujian kandungan logam berat menjadi salah satu solusi yang cocok dilakukan agar kondisi hilir Sungai Rejoso, Pasuruan tetap terkontrol dengan baik. Hasil dari status pencemaran air nantinya digunakan untuk menunjang hasil dari pengamatan status kesehatan ikan (profil hematologi dan struktur histologi pada ikan). Kesehatan ikan menjadi salah satu penunjang dalam menentukan adanya gangguan fisiologis tertentu dari ikan dan status kesehatan lingkungan perairan.

Rumusan masalah yang dapat diambil untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana status pencemaran perairan berdasarkan parameter kualitas air di hilir Sungai Rejoso, Pasuruan?
2. Bagaimana kondisi kesehatan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di hilir Sungai Rejoso, Pasuruan melalui profil hematologi (eritrosit, leukosit, hemoglobin), mikronuklei dan histologi insang, ginjal dan hati?

3. Bagaimana hubungan antara parameter kualitas air dengan kondisi kesehatan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di hilir Sungai Rejoso, Pasuruan?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis status pencemaran lingkungan berdasarkan parameter kualitas air di hilir Sungai Rejoso, Pasuruan.
2. Menganalisis kesehatan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di hilir Sungai Rejoso, Pasuruan melalui profil hematologi (eritrosit, leukosit, hemoglobin), mikronuklei dan histologi insang, ginjal dan hati.
3. Mengkaji hubungan antara parameter kualitas air dengan kondisi kesehatan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di hilir Sungai Rejoso, Pasuruan.

### 1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi kepada pihak-pihak terkait mengenai kondisi kesehatan ikan yang ditinjau dari kondisi kualitas air dan kandungan logam berat di Hilir Sungai Rejoso, Pasuruan. Informasi yang didapatkan harapannya dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemantauan kondisi ikan dan pengelolaan air sungai yang berkaitan dengan beban masukan ke perairan tersebut di masa yang akan datang.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Profil Sungai Rejoso Pasuruan

Kabupaten Pasuruan merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Timur yang memiliki luas wilayah yaitu sebesar 1.474,015 km<sup>2</sup> dan terletak pada titik koordinat 112°33'55" – 113°05'37" Bujur Timur dan 7°32'34" – 7°57'20" Lintang Selatan. Kabupaten Pasuruan memiliki batas-batas wilayah sebagai berikut:

- Utara : Kota Pasuruan, Kabupaten Sidoarjo dan Selat Madura
- Timur : Kabupaten Probolinggo
- Selatan : Kabupaten Malang
- Barat : Kabupaten Mojokerto

Kabupaten Pasuruan juga memiliki wilayah perairan, laut dan kawasan pantai yang membentang sepanjang ±48 km mulai dari Kecamatan Nguling hingga Kecamatan Bangil dengan wilayah eksploitasi laut mencapai 112,5 mil laut persegi dan potensi laut lestari atau *Maximum Sustainable Yield* (MSY) sebesar ±27.000 ton/tahun (Laporan Status Lingkungan Hidup Kabupaten Pasuruan Tahun 2007).

Menurut data Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Pasuruan (2015), Sungai Rejoso merupakan salah satu dari enam sungai besar di Kabupaten Pasuruan yang mengalir dan bermuara di Selat Madura. Sungai Rejoso berada di Kecamatan Rejoso, Kabupaten Pasuruan dan memiliki karakteristik yaitu panjang sungai 45,6 km, lebar permukaan 16,03 m, lebar dasar 9 m, kedalaman 1,68 m dan debit air 0,74-35,52 m<sup>3</sup>/detik. Banyak penduduk sekitar yang memanfaatkan sungai rejoso untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Aktivitas penduduk seperti pertanian, perikanan, kegiatan rumah tangga dan industri dapat memberikan pengaruh yang buruk terhadap kondisi kualitas air sungai. Menurut Muryani

(2010), Sungai Rejoso sendiri berasal dari lereng utara pegunungan Tengger yang kemudian mengalir menuju ke arah utara dan bermuara di Pantai Utara Kabupaten Pasuruan yaitu tepatnya di Kecamatan Rejoso. Sungai Rejoso merupakan batas administrasi dari dua desa yaitu Desa Patuguran dan Desa Jarangan. Sungai Rejoso juga dialiri oleh dua sungai kecil, yaitu Sungai Sodo dan Sungai Petung.



**Gambar 1.** Sungai Rejoso (Dokumentasi pribadi, 2021)

## 2.2 Hilir Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) Rejoso memiliki luas cakupan sebesar 62.851 hektar. Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu daerah daratan yang dapat menerima dan menampung air hujan serta mengalirkannya menuju ke laut melalui satu sungai utama. DAS terbagi menjadi sub DAS yang merupakan bagian DAS yang menerima air hujan dan mengalirkannya menuju ke sungai utama melalui anak sungai (Dirjen Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, 1998). Menurut Arini *et al.* (2007), DAS biasanya terbagi atas tiga daerah yaitu bagian hulu terletak di daerah yang relatif tinggi sehingga air dapat mengalir turun, bagian tengah sungai berada di bagian sungai yang landai, dan bagian hilir terletak di daerah landai dan mendekati muara sungai.

Hilir sungai merupakan bagian yang paling dekat dengan muara laut. Pada daerah hilir proses yang lebih dominan terjadi adalah proses sedimentasi. Daerah

hilir sungai memiliki ciri-ciri yaitu sering terjadi banjir karena letaknya berada di pangkal sungai, lembah sungai di bagian hilir sungai berbentuk U yang lebar. Bagian hilir sungai biasanya berkelok-kelok sehingga alirannya tidak deras. Menurut Kurniadie *et al.*, (2016), kualitas air pada bagian hilir merupakan akumulasi pencemaran air dari industri dan pencemaran dari bagian hulu dan tengah berupa campuran dari limbah pertanian dan pemukiman. Apabila dibandingkan dengan bagian hulu atau tengah, pemanfaatan lahan pada bagian hilir sungai lebih banyak dan bervariasi, dimana banyak pemukiman warga, industri, persawahan dan pertambakan. Hal tersebut mengakibatkan banyaknya jumlah buangan limbah yang masuk ke dalam hilir sungai (Husnah *et al.*, 2017).

### 2.3 Pencemaran Air Sungai Rejoso

Pencemaran air merupakan masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan komponen lain ke dalam air akibat dari kegiatan manusia sehingga dapat menurunkan kualitas air sampai ke tingkat tertentu yang dapat menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya PP RI Nomor 22 Tahun 2021. Menurut Agustiningsih (2012), pencemaran yang terjadi pada air sungai disebabkan oleh pencemar organik dan anorganik. Sumber pencemaran air berasal dari pencemar alami (dari alam) dan pencemar antropogenik (kegiatan manusia). Contoh dari pencemar antropogenik yaitu polutan yang masuk ke dalam perairan yang disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti kegiatan rumah tangga (domestik), perkotaan dan industri.

Sungai Rejoso merupakan sungai yang berada di Kecamatan Rejoso, Kabupaten pasuruan. Panjang dari sungai ini ±25 km dimulai dari Umbulan hingga Selat Madura. Kondisi kualitas air pada sungai Rejoso sangat baik ketika di mata air, namun kondisinya semakin menurun ketika semakin menuju ke hilir. Hal tersebut dikarenakan banyaknya aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat sekitar



hilir sungai Rejoso. Aktivitas penduduk sekitar meliputi kegiatan sehari-hari serta kegiatan pertanian dan perikanan yang hasil limbahnya dapat mempengaruhi kondisi perairan sungai (Lestari dan Trihadiningrum, 2019). Berdasarkan hasil studi dari Lestari dan Trihadiningrum (2011), Sungai Rejoso diindikasikan tercemar akibat dari buangan limbah pabrik MSG dan pabrik pupuk serta pabrik gula yang letaknya berada di sekitar sungai.

Semakin berkembang dan bertambahnya usaha industri di sekitar wilayah Sungai Rejoso, Kabupaten Pasuruan dapat memberikan dampak positif bagi perekonomian masyarakat, namun juga menimbulkan masalah bagi sumber daya air dan ekosistem Sungai Rejoso itu sendiri. Hampir semua limbah domestik, pertanian dan industri dibuang ke sungai tersebut tanpa melalui pengolahan yang memadai. Adanya aktivitas pabrik tersebut, secara langsung maupun tidak langsung akan mempengaruhi kualitas air dan kondisi fisik badan perairan yang pada akhirnya akan mempengaruhi biota yang hidup di dalam sungai (Asrini *et al.*, (2017). Menurut Anggraini *et al.* (2016), sebagian besar dari Sungai Rejoso dimanfaatkan oleh warga sekitar untuk mengairi tambak. Namun, beberapa tahun belakangan ini ikan yang ada di dalam tambak milik warga banyak yang mati. Hal tersebut diakibatkan tercemarnya air sungai karena buangan limbah pabrik. Selain itu, ikan-ikan yang hidup di sungai juga mulai jarang ditemui.

#### **2.4 Biomonitoring Perairan**

Biomonitoring menjadi salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk membantu dalam mengontrol kondisi perairan Sungai Rejoso. Biomonitoring perairan adalah salah satu upaya penggunaan respon organisme perairan secara sistematis untuk mengevaluasi perubahan-perubahan kualitas lingkungan perairan (Naray dan Kudasz, 2016). Biomonitoring ini menggunakan prinsip pengukuran berulang pada

penanda kimia atau biokimia terkait paparan tertentu pada sampel biologi objek yang diamati (Tjokrokusumo, 2006).

Biomonitoring kualitas air adalah upaya pemantauan kualitas air secara biologi yang dilakukan dengan melihat respon biologis organisme indikator (bioindikator) yang hidup di dalam air untuk mengontrol dan menilai perubahan kualitas lingkungan secara berulang. Biomonitoring meliputi proses pengumpulan organisme indikator, analisis fisik dan kimia. Bioindikator merupakan organisme atau spesies yang memiliki toleransi terhadap lingkungan yang terbatas, sehingga dengan adanya organisme indikator ini dapat mengasumsikan keadaan suatu lingkungan (Wright, 2010).

## 2.5 Deskripsi Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

### 2.5.1 Klasifikasi dan Morfologi Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

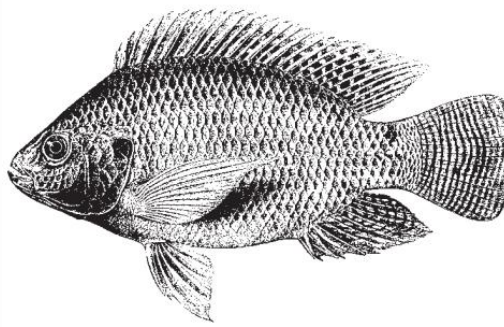
Menurut Rainboth (1996), klasifikasi ikan nila adalah sebagai berikut:

Filum	: Chordata
Sub filum	: Vertebrata
Kelas	: Osteichthyes
Sub kelas	: Acanthopterygii
Ordo	: Perciformes
Sub ordo	: Percoidei
Famili	: Cichlidae
Genus	: <i>Oreochromis</i>
Spesies	: <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)
Sinonim	: <i>Perca nilotica</i> (Linnaeus, 1758)

Nama umum : Nile tilapia (English), Tilapia du Nil (Francis), Tilapia del Nilo (Spanyol)

Nama lokal : Nila hitam (Jawa)





**Gambar 2.** Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) (Carpenter, 2001)

Secara morfologi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) memiliki bentuk tubuh panjang dan pipih ke samping (*compressed*), letak mulut subterminal dan sedikit meruncing. Sisik pada ikan nila termasuk ke dalam tipe *Ctenoid* atau sisik sisir, memiliki jari-jari keras dan sirip bagian perut torasik. Ikan nila memiliki warna tubuh hitam agak keputihan dan pada bagian tutup insang (*operculum*) berwarna putih.

Bagian tubuhnya memiliki gurat sisi (*linea lateralis*) yang terputus antara bagian atas dan bawah, dimana pada bagian atas memanjang dari tutup insang (*operculum*) hingga belakang sirip punggung, sedangkan bagian bawah terputus dari belakang sirip punggung hingga pangkal sirip ekor (Kammerer *et al.*, 2010).

Menurut Rainboth (1996), ikan nila (*Oreochromis niloticus*) memiliki jumlah sirip punggung (*dorsal fin*) XV, 10 artinya 15 duri dan 10 jari-jari lemah, sirip dada (*pectoral fin*) sebanyak 12-13, sirip anus (*anal fin*) III, 10 artinya 3 duri dan 10 jari-jari lemah, sirip perut (*ventral fin*) I, 6 artinya 1 duri dan 6 jari-jari lemah dan sirip ekor (*caudal fin*) II, 15 artinya 2 duri dan 15 jari-jari lemah. Ikan nila memiliki garis vertikal pada bagian badan sebanyak 9-11 buah dan terdapat garis-garis berwarna kemerahan pada bagian sirip sebanyak 6-12 buah.

Ikan nila jantan memiliki ukuran sisik yang lebih besar dan ujung sirip punggung lebih panjang jika dibandingkan dengan ikan nila betina. Ikan nila jantan memiliki papila yang lebih menonjol dan memiliki lubang pengeluaran berjumlah dua buah, yaitu lubang untuk mengeluarkan urine dan sperma yang terletak di

ujung papila dan lubang untuk mengeluarkan feses, sedangkan ikan nila betina memiliki tiga lubang pengeluaran, yaitu lubang anus, urine dan pengeluaran telur. Ikan nila jantan memiliki warna tubuh yang lebih gelap, bentuk tulang rahang melebar dan berwarna biru muda, sedangkan ikan nila betina memiliki bentuk agak lancip dan berwarna kuning terang (Bhagawati dan Amurwanto, 2013). Menurut Lukman *et al.* (2014), bentuk tubuh ikan nila jantan lebih membulat dan pendek jika dibandingkan dengan ikan nila betina. Ikan nila jantan juga memiliki alat kelamin yang panjang dan berwarna cerah. Warna tersebut akan semakin cerah ketika ikan nila semakin dewasa atau sudah matang gonad dan siap membuahi telur.

### 2.5.2 Biologi dan Habitat Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan jenis ikan yang bersifat omnivora atau pemakan segala, namun lebih cenderung ke herbivore. Pada habitat di alam, ikan nila banyak memakan plankton, periphyton dan tumbuhan-tumbuhan lunak seperti gangga dan hydrilla. Benih ikan nila suka memakan zooplankton seperti seperti Rotatoria, Copepoda dan Cladocera. Ikan nila dewasa mampu mengumpulkan makanan berbentuk plankton dengan bantuan lendir mucus dalam mulutnya (Istiqomah *et al.*, 2018).

Ikan nila dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran karena memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki daya tahan sedang terhadap perubahan kondisi lingkungan perairan. Ikan nila juga dapat hidup pada iklim tropis dan lebih tahan terhadap serangan penyakit (Pratiwi *et al.*, 2019). Aprilliyani (2020), mengatakan bahwa ikan nila dapat dijadikan sebagai bioindikator kualitas air karena ikan nila bersifat respiroregulator, osmoregulator, euryhaline sehingga ikan tersebut memiliki daya tahan sedang terhadap perubahan lingkungan termasuk perubahan

yang diakibatkan karena adanya pencemaran di perairan. Selain itu, ikan nila mudah berkembangbiak sehingga populasinya mudah untuk dikendalikan.

Menurut Rainboth (1996), ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan spesies tropis yang suka hidup di perairan yang dangkal. Persebaran ikan nila di alam sangat luas, dimana ikan tersebut dapat hidup di daerah tropis dan daerah beriklim sedang. Ikan nila diintroduksi dari Afrika bagian timur pada tahun 1969 dan kini ikan tersebut tersebar luas di Indonesia. Ikan nila dikenal sebagai ikan yang tahan terhadap perubahan lingkungan, sehingga banyak ditemukan di perairan tawar seperti di sungai dan danau. Namun, ikan nila juga dapat ditemukan hidup dan berkembangbiak di perairan payau dan asin, hal tersebut dikarenakan ikan tersebut memiliki toleransi yang luas terhadap salinitas (Taufik *et al.*, 2002).

Salah satu kelebihan dari ikan nila adalah adaptif terhadap kondisi lingkungan. Ikan nila dapat hidup di perairan dengan suhu berkisar antara 14-38°C. Suhu optimum untuk pertumbuhan ikan nila yaitu berkisar antara 25-30°C. Tingkat kecerahan yang baik untuk ikan nila adalah 25-40 cm dari permukaan air. Ikan nila juga dapat tumbuh baik pada perairan payau dengan salinitas kurang dari 25 ppt, apabila salinitas lebih dari 25 ppt, maka pertumbuhan ikan nila akan lambat dan mudah terserang penyakit *hot spot*. Ikan Nila termasuk jenis ikan yang tahan dalam kondisi kekurangan oksigen jika terjadi kekurangan oksigen. Kandungan oksigen yang baik untuk ikan nila minimal 4 mg/l (Lukman *et al.*, 2014).

## 2.6 Parameter Kualitas Air

### 2.6.1 Parameter Fisika Air

#### 2.6.1.1 Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang berperan dan berpengaruh penting dalam mengendalikan ekosistem perairan sungai. Suhu perairan dapat mempengaruhi pertumbuhan dan distribusi ikan atau organisme lain yang ada di dalamnya. Setiap ikan atau organisme akuatik memiliki tingkat toleransi suhu yang

berbeda-beda yang menyebabkan ikan atau organisme tersebut dapat tumbuh secara optimal (Van Vliet *et al.*, 2013). Menurut Boyd (2015), temperatur atau suhu air adalah besaran fisika yang menyatakan tinggi rendahnya panas air yang ada pada kolam budidaya, perairan laut, sungai, danau maupun waduk. Suhu tubuh organisme akuatik akan dikendalikan oleh air dan pada umumnya ikan cukup sensitif terhadap perubahan suhu air.

Suhu dapat mempengaruhi keberadaan ikan dan organisme akuatik lainnya.

Tinggi rendahnya suhu perairan dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang menyinari perairan tersebut dan juga dipengaruhi oleh perbedaan ketinggian.

Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, volatilisasi dan dapat menyebabkan terjadinya penurunan kelarutan gas dalam air seperti gas O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Kisaran suhu yang baik bagi pertumbuhan ikan adalah 20-30°C (Mainassy, 2017) (Kottelat dan Whitten, 1996). Menurut Secchi *et al.* (2011), pola suhu pada ekosistem perairan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti intensitas cahaya matahari, ketinggian geografis, pertukaran panas antara air dengan udara dan faktor *canopy* (penutupan oleh vegetasi) yang tumbuh di sekitar perairan tersebut. Peningkatan suhu di badan air, saluran air, sungai, danau dan perairan lainnya dapat menimbulkan akibat sebagai berikut: 1. Menurunnya jumlah oksigen terlarut di suatu perairan 2. Meningkatnya kecepatan reaksi kimia 3. Mengganggu kehidupan ikan dan organisme akuatik lainnya. Selain itu, suhu yang meningkat juga dapat mengakibatkan tingginya dekomposisi bahan organik oleh mikroba (Beveridge, 2004).

Menurut Budiastuti *et al.* (2016), suhu mempunyai pengaruh universal dalam mengatur proses alami di perairan. Suhu dapat mempengaruhi komponen biotik dan komponen abiotik di suatu perairan. Suhu juga dapat mempengaruhi toksisitas logam berat terhadap biota, jika terjadi peningkatan suhu di perairan maka proses pemasukan logam berat dalam tubuh organisme juga akan meningkat dan reaksi

pembentukan ikatan antara logam berat dengan protein dalam tubuh organisme akan semakin cepat.

### 2.6.1.2 Kecerahan

Kecerahan merupakan parameter yang dapat digunakan untuk menyatakan sebagian dari cahaya matahari yang dapat menembus ke dalam suatu perairan.

(Khaeksi *et al.*, 2015). Menurut Hamuna *et al.* (2018), kecerahan merupakan tingkat transparansi perairan yang dapat diamati secara visual dengan menggunakan *secchi disk* dengan satuan meter atau persentase. Mengukur nilai kecerahan suatu perairan dapat membuat kita tahu sampai dimana masih ada kemungkinan terjadi proses asimilasi dalam air, lapisan-lapisan mana yang tidak keruh dan yang paling keruh.

Faktor yang dapat mempengaruhi kecerahan yaitu kejernihan yang sangat ditentukan oleh partikel-partikel terlarut dalam lumpur. Semakin banyak partikel atau bahan organik yang terlarut maka kekeruhan akan meningkat. Kekeruhan atau konsentrasi bahan tersuspensi dalam perairan akan menurunkan efisiensi makan dari organisme tersebut. Nilai kecerahan yang rendah disebabkan oleh kondisi perairan yang keruh akibat banyaknya padatan tersuspensi akibat limbah domestik dan kurangnya pengikatan substrat karena tidak adanya mangrove, sehingga cahaya tidak menembus hingga ke dasar perairan. Nilai kecerahan yang rendah pada suatu perairan juga dapat disebabkan karena banyaknya aktivitas manusia yang menghasilkan limbah sehingga menyebabkan tingginya partikel terlarut dan partikel tersuspensi yang berasal dari aktivitas manusia tersebut. (Mainassy, 2017).

Nilai kecerahan sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca, waktu pengukuran serta ketelitian seseorang pada saat melakukan pengukuran. Waktu yang tepat untuk melakukan pengukuran yaitu pada saat cuaca cerah. Menurut Kurniawan

(2013), nilai kecerahan yang didapatkan dari hasil pengukuran menggunakan *secchi disk* dengan nilai rata-rata 90% artinya kecerahan perairan tersebut masih sesuai dengan baku mutu dan dapat dikatakan bahwa perairan tersebut masih termasuk ke dalam perairan yang baik. Menurut Suparjo (2009), nilai kecerahan yang baik untuk kehidupan ikan adalah lebih besar dari 0,45 m. Kecerahan air di bawah 100 cm tergolong tingkat kecerahan rendah.

### 2.6.1.3 Kecepatan Arus

Arus adalah proses pergerakan massa air secara vertikal maupun horizontal menuju kesetimbangan yang terjadi secara terus menerus. Gerakan yang terjadi merupakan hasil resultan dari berbagai macam gaya yang bekerja pada permukaan, kolom, dan dasar perairan. Terjadinya arus disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu faktor internal seperti perbedaan densitas air laut, gradien tekanan mendatar, gesekan lapisan air dan faktor eksternal seperti angin, gaya coriolis, perbedaan tekanan udara, gaya gravitasi, gaya tarik matahari dan bulan yang dipengaruhi oleh tahanan dasar laut (Effendi *et al.*, 2013). Pernyataan tersebut sama dengan Simatupang *et al.* (2016), arus merupakan salah satu parameter fisika yang berperan dalam distribusi nutrisi dan kualitas perairan. Arus dapat diartikan sebagai suatu proses perpindahan atau pergerakan massa air secara vertikal maupun horizontal. Sebagian besar perairan, faktor utama yang dapat menimbulkan arus yaitu angin dan pasang surut.

Kecepatan arus pada sungai dapat berubah-ubah tergantung lokasi dan waktu.

Arus dapat mengakibatkan perbedaan kehidupan di danau dan di sungai serta dapat menyebabkan perbedaan-perbedaan fisik-kimia dan biologi di berbagai sungai (Odum dan Barrett, 1993). Menurut Simatupang *et al.* (2016), bahwa kecepatan maksimum untuk arus umum dan arus pasang surut terjadi pada saat pasang, sedangkan kecepatan minimum untuk arus umum terjadi pada saat



puncak pasang tertinggi, sehingga tidak ada pergerakan dan arah arus. Arus pasang surut terjadi pada saat menuju pasang tertinggi sehingga terjadi penurunan kecepatan arus.

Pada bagian hulu sungai kecepatan arusnya lebih deras jika dibandingkan bagian hilir. Perubahan tersebut diikuti dengan berubahnya jenis spesies ikan atau organisme akuatik yang hidup di dalamnya. Kecepatan arus ditentukan oleh kedalaman, kemiringan dan substrat. Sungai dengan kecepatan arus antara 10-25 cm/s termasuk ke dalam sungai dengan kecepatan arus yang lambat, kecepatan arus antara 25-100 cm/s termasuk ke dalam sungai dengan kecepatan arus sedang dan sungai dengan kecepatan arus >100 cm/s termasuk ke dalam sungai dengan kecepatan arus yang cepat (Apsari dan Sutedjo, 2012).

#### 2.6.1.4 Total Suspended Solid (TSS)

*Total Suspended Solid* (TSS) atau padatan tersuspensi total merupakan bahan-bahan yang tersuspensi (diameter > 1  $\mu\text{m}$ ) yang tertahan di atas saringan *Millipore* dengan diameter 0,45  $\mu\text{m}$ . TSS tersusun atas lumpur, pasir halus dan jasad renik yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. Banyaknya jumlah materi yang tersuspensi dalam air sungai dapat mempengaruhi tingkat kecerahan air sungai (Cech, 2005). Menurut Makmur *et al.* (2012), *Total Suspended Solid* adalah semua zat padat seperti pasir, lumpur, tanah liat dan partikel-partikel yang tersuspensi di dalam air. Selain itu TSS juga berupa komponen hidup (biotik) seperti zooplankton, fitoplankton, bakteri dan fungi (jamur), ataupun komponen mati (abiotik) seperti detritus dan partikel-partikel anorganik.

Menurut Helfinalis *et al.* (2012), umumnya TSS di kolom air laut berasal dari daratan dan bersama aliran sungai terbawa ke perairan laut sekitar muara, sedangkan di badan air sungai TSS lebih banyak dijumpai di dekat lapisan dasar

akibat pengaruh pergerakan massa air yang menggerus dasar sungai tersebut dan ditambah dengan material yang mengendap di dasar sungai. Nilai TSS yang tinggi dapat menimbulkan dampak yaitu menurunnya aktivitas fotosintesis tumbuhan laut baik mikro maupun makro sehingga oksigen yang dilepaskan menjadi berkurang, hal tersebut dapat mengakibatkan ikan-ikan mati. Konsentrasi TSS pada badan sungai yang semakin bertambah dan mengalir ke laut lepas maka dalam jangka waktu yang lama akan dapat menurunkan kualitas perairan pesisir. Swer dan Singh (2004), berpendapat bahwa masuknya bahan pencemar dari berbagai jenis limbah ke dalam perairan dapat menyebabkan proses pengadukan yang tinggi.

Tingkat kekeruhan yang tinggi dapat mempengaruhi kehidupan organisme yang ada ada di dalam air, yaitu dapat mengganggu respirasi dan penglihatan biota akuatik.

Menurut keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 2 Tahun 1988 tentang status kualitas lingkungan berdasarkan nilai padatan tersuspensi bahwa kategori TSS dengan nilai 0 – 100 termasuk kedalam kategori baik, 100 – 250 sedang, 250 – 500 jelek dan > 500 sangat jelek. Menurut Effendi (2003), nilai TSS >400 mg/l sangat tidak baik bagi kehidupan organisme akuatik dan tidak baik bagi kepentingan perikanan. Pernyataan tersebut sama dengan PP RI Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, bahwa kandungan padatan tersuspensi total di suatu perairan sebesar 100 mg/l.

## 2.6.2 Parameter Kimia Air

### 2.6.2.1 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) adalah jumlah kandungan ion hidrogen yang terlepas dalam suatu cairan. Pada suatu perairan nilai pH menjadi salah satu parameter kimia yang cukup penting karena dapat mengetahui sifat asam atau basa serta dapat dijadikan sebagai indikator baik buruknya suatu perairan. Nilai pH air sungai

berkisar antara 4-9, namun nilai pH yang ideal bagi perairan berkisar antara 7-8,5.

Nilai pH yang bervariasi dapat mempengaruhi biota di suatu perairan. Sifat perairan yang terlalu basa atau asam dapat membahayakan kelangsungan hidup ikan dan organisme yang ada di dalamnya karena akan mengganggu proses metabolisme dan respirasi (Champan, 1996). Menurut Gazali *et al.* (2013), derajat keasaman adalah kekuatan antara basa dan asam dalam air dan suatu kadar konsentrasi ion hidrogen dalam larutan. Konsentrasi ion hidrogen merupakan ukuran kualitas air dengan kadar yang baik yaitu kadar dimana kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Ikan dan organisme akuatik dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada kisaran pH 6,5-8,5.

Derajat keasaman (pH) juga dapat digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran suatu perairan. Perairan yang memiliki nilai pH <7 maka perairan tersebut bersifat asam, nilai pH >7 maka perairan tersebut bersifat basa (alkali) dan pH =7 disebut sebagai netral. Perubahan nilai pH air bergantung pada polutan yang tercemar pada perairan tersebut. Perairan yang memiliki nilai pH lebih kecil atau lebih besar dari kisaran pH normal maka dapat mempengaruhi kehidupan jasad renik yang ada di dalamnya (Mosley *et al.*, 2014). Menurut Sugiyarto *et al.* (2017), nilai pH < 4,8 dan > 9,8 dapat dikatakan bahwa perairan tersebut sudah dianggap tercemar.

Nilai derajat keasaman atau pH berbanding lurus dengan nilai alkalinitas dan berbanding terbalik dengan nilai karbondioksida. Semakin tinggi nilai pH maka semakin tinggi pula nilai alkalinitas, sebaliknya semakin tinggi nilai pH maka semakin rendah nilai karbondioksida bebas. Nilai pH juga dapat mempengaruhi proses biokimia di suatu perairan, misalkan proses nitrifikasi akan berakhir apabila nilai pH rendah. Pengurangan nilai pH air akan terjadi apabila sumber pembuangan air asam dan sampah-sampah industri sudah tidak dinetralkan (Effendi, 2003).

### 2.6.2.2 Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen* (DO) adalah total jumlah oksigen yang terlarut di dalam air. Oksigen terlarut menjadi salah satu parameter kualitas air yang sangat penting, dimana semua jasad hidup sangat membutuhkan oksigen terlarut untuk proses respirasi, metabolisme atau pertukaran zat yang nantinya akan menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan. Pada suatu perairan, sumber utama oksigen terlarut yaitu berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang ada di dalam perairan tersebut. Kecepatan dari difusi oksigen tergantung dari beberapa faktor, contohnya kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan air dan udara (Radwan *et al.*, 2010).

Penurunan oksigen terlarut dapat mengurangi efisiensi pengambilan oksigen bagi biota perairan sehingga menurunkan kemampuannya untuk hidup normal. Selain itu, konsentrasi oksigen terlarut yang rendah dapat mengganggu proses pernapasan dan dapat menurunkan tingkat aktivitas organisme akuatik, sehingga dapat menghambat perkembangan dan menyebabkan masalah reproduksi. Semakin banyak organisme di perairan, maka semakin banyak DO yang digunakan sehingga ketersediaan DO tersebut semakin berkurang. Rendahnya DO disebabkan oleh pembuangan limbah yang mengandung bahan organik (Wijayanti, 2017).

Kadar oksigen terlarut memiliki keterkaitan dengan suhu dan salinitas, dimana kadar oksigen terlarut akan bertambah dengan semakin rendahnya suhu dan akan berkurang dengan semakin tingginya salinitas. Kadar oksigen terlarut tinggi pada permukaan air, namun semakin dalamnya kedalaman maka kadar oksigen terlarut akan rendah (Odum, 1971). Menurut Swingle (1968), kandungan oksigen terlarut minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar. Nilai tersebut

sudah cukup untuk kelangsungan hidup organisme di perairan. Berdasarkan PP RI Nomor 22 Tahun 2021 bahwa baku mutu oksigen terlarut di suatu perairan adalah 3 Mg/L.

### 2.6.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

*Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk proses penguraian seluruh bahan organik yang terkandung di dalam air. Bahan organik sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) pada kondisi asam dan kemudian dipanaskan dengan katalisator perak sulfat. Kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik pada sampel dihitung dan dapat ditentukan nilai COD (Boyd, 2015). Kebutuhan oksigen kimia adalah ukuran banyaknya oksigen total dalam satuan miligram per liter yang diperlukan dalam proses oksidasi kimia bahan organik dalam limbah (Senila *et al.*, 2007). Menurut Gazali *et al.* (2013), *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen ( $mgO_2$ ) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air atau banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi  $CO_2$  dan  $H_2O$ .

Tingginya jumlah pemakaian oksigen dalam proses reaksi kimia menunjukkan tingginya pencemaran bahan organik yang ada dalam perairan tersebut. Hal tersebut dapat mengganggu keberlangsungan hidup organisme di dalamnya.

Kandungan COD yang tinggi dapat mengurangi kemampuan badan air dalam menjaga ekosistem yang ada. Nilai COD pada perairan yang tidak tercemar biasanya kurang dari 20 mg/l. Sementara pada perairan yang tercemar memiliki nilai COD dapat melebihi 200 mg/l. Oleh karena itu perairan yang memiliki nilai COD tinggi tidak baik untuk kegiatan perikanan (Agustira *et al.*, 2013).

#### 2.6.2.4 Total Organic Matter (TOM)

*Total Organic Matter* (TOM) merupakan gambaran dari kandungan bahan organik total pada suatu perairan yang terdiri dari bahan organik terlarut, tersuspensi dan koloid. Nilai konsentrasi TOM yang aman bagi perairan yaitu  $\leq 30$  mg/l (Effendi, 2003).

Faktor yang mempengaruhi jumlah konsentrasi TOM pada suatu perairan adalah letak sungai atau perairan yang berdekatan dengan pemukiman warga, hutan mangrove dan banyaknya substrat halus. Jenis sedimen yang lebih halus memiliki kandungan bahan organik yang lebih banyak jika dibandingkan dengan jenis sedimen yang lebih kasar. Tingginya kandungan TOM dapat menyebabkan rendahnya kandungan oksigen terlarut dalam perairan (Susana, 2009).

Curah hujan dapat menyebabkan tingginya limpasan material organik dari daratan ke perairan, dimana curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan beban zat hara masuk ke perairan (Palimirmo *et al.*, 2016). Muara sungai juga memberikan masukan terhadap bahan organik ke perairan seperti pernyataan Kristiawan *et al.*, (2014) menyebutkan bahwa sumber bahan organik berasal dari daratan dan terangkut ke perairan melalui aliran sungai sehingga di daerah muara terdapat sejumlah besar bahan organik. Menurut Ulqodry *et al.* (2010), bahan organik total secara alamiah berasal dari perairan itu sendiri melalui proses penguraian pelapukan ataupun dekomposisi buangan limbah baik limbah daratan seperti domestik, industri, pertanian, dan limbah peternakan ataupun sisa pakan yang dengan adanya bakteri terurai menjadi zat hara.

#### 2.6.2.5 Nitrat

Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) merupakan bentuk nitrogen utama di perairan alami. Nitrat berasal dari amonium yang masuk ke perairan melalui limbah. Konsentrasi nitrat yang

tinggi di perairan dapat menstimulasi pertumbuhan dan perkembangan organisme perairan sehingga dapat mempengaruhi kadar oksigen terlarut, suhu dan parameter lainnya. Sedangkan, kadar nitrat yang rendah di perairan disebabkan karena aktivitas mikroorganisme dalam air (Mustofa, 2015). Menurut Makmur *et al.* (2012), nitrat merupakan makronutrien yang dapat mengontrol produktivitas primer di daerah eutrofik.

Nitrifikasi merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi ammonia menjadi nitrit dilakukan oleh bakteri *nitrosomonas*, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh *nitrobacter*. Konsentrasi nitrat-nitrogen yang lebih dari 0,2 mg/l dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan dan selanjutnya menstimulasi pertumbuhan alga dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*) (Effendi, 2003).

Limbah domestik mengandung nitrogen yang dapat berpengaruh dalam pembentukan nitrat. Sumber utama nitrogen dalam air adalah buangan domestik, air limbah industri, kotoran hewan (ternak, burung, mamalia, dan ikan), pertanian, dan emisi kendaraan. Senyawa yang mengandung nitrogen berperan sebagai nutrisi dalam sungai, selain pengaruh dari limbah domestik maupun industri konsentrasi nitrat pada perairan dipengaruhi juga oleh perubahan iklim yang disertai perubahan suhu, kuantitas, dan distribusi hujan (Rao *et al.*, 2017).

#### 2.6.2.6 Ortofosfat

Fosfat pada perairan berbentuk ortofosfat ( $PO_4$ ). Bentuk fosfat yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan akuatik disebut dengan ortofosfat.

Ortofosfat yang merupakan produk ionisasi dari asam ortofosfat adalah bentuk fosfat yang paling sederhana di perairan (Effendi, 2003). Menurut Dewa *et al.* (2016), fosfat tidak ditemukan dalam keadaan bebas dalam suatu perairan

melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan senyawa organik berupa partikulat. Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan dan merupakan unsur yang esensial bagi tumbuhan, sehingga menjadi faktor pembatas yang mempengaruhi produktivitas perairan.

Kandungan ortofosfat dalam perairan menandakan kesuburan perairan tersebut. Pada sistem perairan fosfat dapat ditemukan sebagai ion bebas. Tingginya kadar fosfat di perairan dapat disebabkan karena adanya limbah domestik yang mengandung detergen. Deterjen dapat meningkatkan kadar fosfat karena ion fosfat merupakan salah satu komposisi penyusun deterjen (Tungka *et al.*, 2016). Menurut Aziz *et al.* (2014), salah satu sumber fosfat yaitu dari buangan limbah air pemukiman warga atau limbah pabrik. Selain itu, keberadaan hutan mangrove yang letaknya berdekatan dengan muara sungai juga dapat mempengaruhi jumlah konsentrasi fosfat di suatu perairan.

Kandungan fosfat di dalam perairan alami umumnya sangat kecil dan tidak pernah melampaui 0,1 mg/l kecuali apabila ada penambahan dari luar oleh faktor antropogenik seperti dari sisa pakan ikan dan limbah pertanian (Dewa *et al.*, 2016). Menurut Anhwange *et al.* (2012), bahwa tingkat maksimum fosfat yang disarankan untuk perairan yang telah dilaporkan adalah 0,1 mg/l. Perairan yang nilai fosfatnya lebih dari 0.1 mg/l sebagai perairan eutrof, dimana perairan ini sering terjadi.

#### 2.6.2.7 Alkalinitas

Menurut Yulfiperius *et al.* (2006), Alkalinitas air adalah gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam atau kuantitas anion di dalam air yang dapat menetralkan kation hidrogen. Alkalinitas juga diartikan sebagai kapasitas penyangga terhadap penurunan pH perairan. Secara khusus, alkalinitas sering disebut sebagai besaran yang menunjukkan kapasitas penyanggahan ion bikarbonat dan sampai dengan



tahap tertentu juga menunjukkan penyanggahan terhadap ion karbonat dan hidroksida dalam air.

Penyusun alkalinitas perairan adalah anion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), dan hidroksida ( $\text{OH}^-$ ). Borat ( $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ), silikat ( $\text{HSiO}_3^-$ ), fosfat ( $\text{HPO}_4^{2-}$  dan  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), sulfida ( $\text{HS}^-$ ), dan amonia ( $\text{NH}_3$ ). Sebagai pembentuk alkalinitas yang utama adalah bikarbonat, karbonat, dan hidroksida, dan bikarbonat adalah paling banyak terdapat pada perairan alami (Effendi, 2003).

Nilai alkalinitas perairan alam hampir tidak pernah melebihi 500 mg/Liter  $\text{CaCO}_3$ . Nilai alkalinitas yang baik berkisar antara 30 – 500 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . Nilai alkalinitas pada perairan alami adalah 40 mg/L  $\text{CaCO}_3$  (Boyd, 1990). Makin tinggi alkalinitas, makin tinggi kemampuan air untuk menyangga sehingga fluktuasi pH perairan makin rendah. Alkalinitas biasanya dinyatakan dalam kalsium karbonat dengan satuan ppm (mg/L) (Yulfiperius *et al.*, 2006). Menurut PP Nomor 22 Tahun 2021, perairan dengan nilai alkalinitas yang terlalu tinggi tidak terlalu disukai oleh organisme akuatik karena biasanya diikuti dengan nilai kesadahan yang tinggi atau kadar garam natrium yang tinggi.

## 2.7 Logam Berat

Menurut Effendi (2003), dalam perairan logam berat merupakan unsur logam yang mempunyai densitas lebih dari 5 g/cm<sup>3</sup> dan terdapat dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Organisme membutuhkan logam berat untuk membantu pertumbuhan dan perkembangan hidupnya. Kadar logam berat dalam air sungai meningkat disebabkan oleh masuknya limbah industri, domestik, pertambangan dan pertanian. Terlalu tingginya kadar logam berat di dalam perairan dapat menyebabkan racun bagi organisme akuatik yang hidup di dalamnya. Selain bersifat racun, logam berat juga terakumulasi dalam sedimen dan biota melalui proses biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi oleh biota laut.

Sungai merupakan salah satu kawasan yang sering tercemar oleh berbagai macam jenis logam berat akibat buangan dari industri. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat terbagi menjadi dua jenis, yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat esensial, keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun, misalnya Zn, Cu, Fe, Co, Mn, Ni dan sebagainya. Logam berat non esensial, keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, misalnya Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain (Yudo, 2006).

Menurut Nordberg *et al.* (1982), logam berat yang terserap di dalam tubuh maka tidak dapat dihancurkan tetapi akan tetap tinggal di dalamnya hingga nantinya dibuang melalui proses ekskresi. Hal serupa juga terjadi apabila suatu lingkungan terutama di perairan telah terkontaminasi (tercemar) logam berat maka proses pembersihannya akan sulit sekali dilakukan. Hal yang serupa juga disampaikan oleh Hutabarat dan Evans (1986), bahwa logam berat yang sudah masuk ke dalam tubuh hewan umumnya tidak dapat dikeluarkan dan akhirnya menumpuk di dalam tubuh hewan tersebut. Akibatnya, logam berat akan terus ada di sepanjang rantai makanan. Hal ini disebabkan karena predator pada satu trofik level makan mangsa mereka dari trofik level yang lebih rendah yang telah tercemar.

### 2.7.1 Pencemaran Logam Berat Kadmium (Cd)

Logam berat Kadmium (Cd) adalah elemen toksik yang dapat berpengaruh pada sistem ekologi perairan sebab logam tersebut bersifat racun (B3) yang dapat mengakibatkan menurunnya keseimbangan ekologi dan kelangsungan hidup organisme yang ada di perairan (Mamoribo *et al.*, 2015). Menurut Kulkarni dan

Kaware (2013), logam berat jenis Cd merupakan salah satu logam yang apabila ada di dalam air tawar berbentuk ion  $Cd^{2+}$ .

Menurut Masriadi (2019), di lingkungan perairan sumber utama kontaminasi Cd yaitu melalui lapisan bumi dan aktivitas manusia (antropogenik). Sumber utama kontaminasi Cd pada perairan sungai yaitu berasal dari daerah-daerah perindustrian. Beberapa jenis industri yang menghasilkan limbah Cd yaitu industri cat, tekstil, pupuk, plastik dan lain-lain. Umumnya Cd terdapat dalam kombinasi dengan elemen lain seperti Oxygen (Cadmium Oxide), Chlorine (Cadmium Chloride) atau belerang (Cadmium Sulfide) (Hutagalung, 1984).

Berdasarkan PP RI Nomor 22 tahun 2021 Kelas III, baku mutu logam berat kadmium (Cd) di perairan sebesar 0,01 mg/L. Semakin banyaknya jumlah Cd di suatu perairan maka dapat menurunkan kualitas air. Selain mempengaruhi kualitas air, logam berat juga dapat mempengaruhi sumber daya hayati perairan, karena sifat logam berat yang akumulatif pada tubuh biota (Barus, 2017).

### 2.7.2 Mekanisme Kontaminasi Logam Berat pada Ikan

Logam berat yang terlarut dalam perairan dengan konsentrasi tertentu dapat berubah fungsi menjadi sumber racun bagi kehidupan perairan. Pencemaran perairan yang disebabkan oleh logam berat dapat berpengaruh terhadap ekosistem perairan itu sendiri. Hal tersebut dikarenakan sifatnya yang stabil dalam sedimen, kelarutannya yang rendah dalam air dan mudahnya logam berat diserap dan terkumpul dalam jaringan tubuh organisme air, baik melalui proses *bioaccumulation* maupun *biomagnification* yaitu melalui *food chain* (Hananingtyas, 2017).

Menurut Prastyo *et al.* (2017), secara umum mekanisme masuknya logam berat ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup dapat melalui beberapa cara, yaitu melalui membran insang (pernapasan) dan melalui rantai makanan (pencernaan),

serta masuk melalui kulit dan lapisan mukosa yang akan diangkut oleh darah kemudian terakumulasi di dalam jantung maupun ginjal.

Menurut Zodape *et al.* (2011), bahwa ikan laut di Mumbai-India memiliki kandungan logam tertinggi pada jaringan insang dan hati jika dibandingkan dengan jaringan daging ikan. Hal tersebut dikarenakan pada jaringan lunak seperti insang dan hati ikan memiliki kemampuan menyerap logam berat lebih banyak daripada jaringan lainnya. Urutan kandungan logam berat pada organ tubuh ikan mulai dari yang tertinggi sampai yang terendah adalah pada organ isi (hati dan ginjal), tulang, kulit, dan daging. Hasil penelitian tersebut sejalan dengan pernyataan Suyanto (2010), dimana logam berat akan terabsorpsi oleh darah dan kemudian akan didistribusikan oleh darah ke seluruh jaringan tubuh. Pada ikan, akumulasi logam berat yang tertinggi biasanya terjadi pada hati (detoksifikasi) dan ginjal (ekskresi). Logam berat memiliki kemampuan yaitu mengubah sistem hematologi dengan menghambat aktivitas beberapa enzim yang terlibat dalam biosintesis darah. Setelah diserap oleh darah logam berat akan didistribusikan ke beberapa organ terutama ke hati, ginjal, jantung dan gonad serta mempengaruhi sistem kekebalan tubuh.

## 2.8 Hematologi

Darah ikan tersusun atas sel-sel yang tersuspensi dalam plasma dan diedarkan ke seluruh jaringan tubuh melalui sistem sirkulasi. Darah memiliki peran penting pada ikan yaitu untuk mempertahankan kesehatan normal dalam melawan infeksi. Darah merupakan bagian dari sistem sirkulasi yang memiliki banyak fungsi yaitu membawa hormon dan sisa hasil metabolisme, mengangkut oksigen, karbondioksida serta nutrisi yang dibutuhkan oleh tubuh. Darah juga berfungsi dalam mentranspor makanan dan air dari jaringan satu ke jaringan yang lain serta pertahanan diri dalam melawan zat-zat berbahaya (Hidayatullah, 2015).

Hematologi merupakan ilmu yang mempelajari mengenai sel darah. Pengamatan hematologi pada ikan dapat digunakan untuk menunjukkan status kesehatan dan fisiologi ikan sebagai respon terhadap perubahan yang berkaitan dengan kualitas air, paparan logam berat, dan bakteri pathogen (Fazio, 2018).

Menurut Yanto *et al.* (2015), penggunaan metode hematologi menjadi cara yang cukup efektif untuk mendeteksi perubahan fisiologis yang disebabkan karena stress lingkungan dan juga mendiagnosa penyakit pada ikan secara dini, yaitu dengan memperhatikan nilai-nilai parameter pada darah. Parameter darah yang akan diamati perubahannya adalah sebagai berikut:

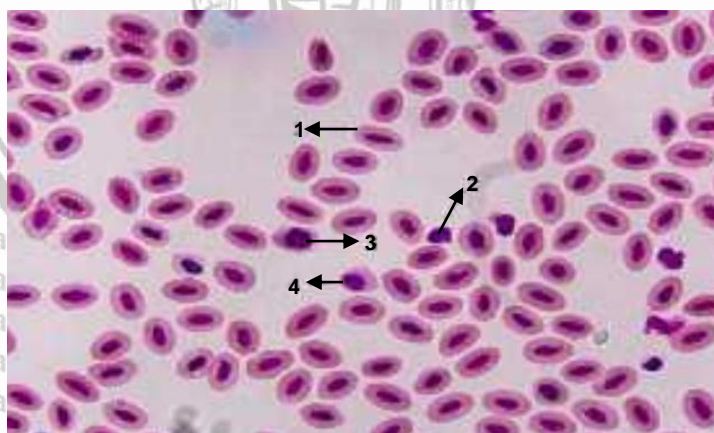
### 2.8.1 Sel Darah Merah (Eritrosit)

Sel darah merah atau eritrosit merupakan korpuskel-korpuskel yang dapat memberikan warna merah pada darah. Sel darah merah memiliki jumlah lebih banyak jika dibandingkan dengan sel darah lainnya, jika dalam kondisi normal jumlah sel darah merah bisa mencapai setengah dari volume sel darah (Putri *et al.*, 2013). Menurut Maftuch *et al.* (2012), umumnya jumlah eritrosit pada ikan normal yaitu berkisar antara 1.050.000 – 3.000.000 sel/mm<sup>3</sup>. Suhu memiliki pengaruh pada jumlah eritrosit dan jumlah eritrosit pada tiap spesies berbeda-beda tergantung dari aktivitas ikan, stress pada ikan dan kondisi lingkungan perairan. Pada saat suhu meningkat maka aktivitas penyerapan oksigen oleh eritrosit akan meningkat. Tubuh ikan akan mengkompensasi perubahan kekurangan oksigen tersebut dengan meningkatkan jumlah eritrosit (Bozorgnia *et al.*, 2011). Sedangkan, penurunan jumlah eritrosit dapat mengindikasikan bahwa ikan tersebut terkena anemia yang ditandai dengan adanya pendarahan pada organ ginjal ikan (Hardi *et al.*, 2011).

Sebagian besar hewan vertebrata kecuali mamalia, memiliki eritrosit berbentuk oval, berinti, berwarna merah dan memiliki diameter ± 8 µm, tebal bagian tepi 2

$\mu\text{m}$  dan tebal bagian tengah  $1 \mu\text{m}$ . Umumnya, eritrosit pada ikan yang berbentuk oval memiliki volume oksigen lebih besar jika dibandingkan dengan bentuk bikonkaf karena eritrosit bentuk oval memiliki lebih banyak ruang dalam pengangkutan oksigen (Morera dan Mackenzie, 2011). Menurut Putra (2015), eritrosit yang sudah matang memiliki bentuk oval hingga bundar dengan inti yang kecil dan sitoplasma berwarna kekuningan, sedangkan eritrosit yang belum matang memiliki bentuk agak bulat dengan sitoplasma berwarna kebiru-biruan. Pada ikan yang sudah dewasa eritrositnya akan terlihat jelas dengan sitoplasma mengandung granula-granula kecil berwarna merah.

Menurut Fujaya (2004), fungsi utama eritrosit adalah mengangkut hemoglobin dan berperan membawa oksigen dari insang menuju ke jaringan, selain itu eritrosit juga mengandung asam karbonat dalam jumlah besar yang berfungsi mengkatalis reaksi antara karbondioksida dan air, sehingga darah dapat mentranspor karbondioksida dari jaringan menuju insang. Eritrosit memiliki komponen utama yaitu hemoglobin protein yang mengangkut sebagian besar oksigen ( $\text{O}_2$ ) dan sebagian kecil fraksi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) (Saparuddin, 2019). Komponen-komponen sel darah merah (eritrosit) disajikan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Komponen-komponen sel darah merah pada ikan (1=Eritrosit; 2=Trombosit; 3=Eosinofil; 4=Neutrophil) (Hidayaturrahman, 2015)

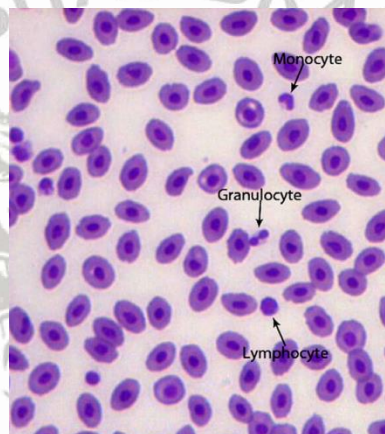
## 2.8.2 Sel Darah Putih (Leukosit)

Sel darah putih atau leukosit adalah unit sistem pertahanan tubuh paling efektif dan beredar di dalam sirkulasi darah dalam berbagai tipe. Leukosit berfungsi dalam merusak bahan-bahan infeksius dan toksik melalui proses fagositosis dengan membentuk antibodi (Rustikawati, 2012). Pada ikan teleostei, leukosit merupakan salah satu bagian dari sistem pertahanan tubuh yang bersifat non-spesifik. Leukosit akan membantu membersihkan tubuh dari berbagai macam jenis benda asing. Ikan yang tidak sehat (sakit) akan menghasilkan jumlah leukosit lebih banyak guna untuk menghasilkan antibodi (limfosit) atau memfagosit bakteri (neutrofil dan monosit) (Putri et al., 2013).

Leukosit berbentuk lonjong atau bulat, tidak berwarna dan merupakan unit aktif dari sistem pertahanan tubuh (imun). Leukosit memiliki jumlah lebih sedikit jika dibandingkan dengan eritrosit. Jumlah leukosit normal pada ikan berkisar antara 20.000-150.000 sel/mm<sup>3</sup> (Sahetapy, 2012). Menurunnya jumlah leukosit disebut dengan leukopenia, sedangkan meningkatnya jumlah leukosit disebut dengan leukositis. Tubuh ikan yang terserang penyakit atau terinfeksi virus akan meningkatkan kekebalan tubuhnya yaitu dengan memproduksi jumlah leukosit lebih banyak, sehingga konsentrasi leukosit akan lebih banyak dari kondisi normal (Uribe et al., 2011).

Leukosit dikelompokkan menjadi dua, yaitu agranular dan granular. Pada leukosit agranular terdapat sitoplasma yang tampak homogen, memiliki inti berbentuk bulat dan terdiri dari limfosit dan monosit. Sedangkan, pada leukosit granular mengandung granula spesifik dalam sitoplasmanya, memiliki inti yang bervariasi dan terdiri dari neutrofil, eosinofil dan basofil (Hadi et al., 2016). Neutrofil memiliki granular berwarna bening dan halus. Eosinofil memiliki granular berwarna merah dan kasar. Basofil memiliki granular berwarna biru, lebih halus dan

berperan dalam respon alergi. Limfosit merupakan sel darah putih yang memiliki peranan penting dalam pembentukan antibodi. Monosit dan neutrofil merupakan sel darah putih yang memiliki peranan dalam fagositosis antigen yang masuk ke dalam tubuh. Mekanisme masuknya virus, bakteri maupun logam berat di dalam sel darah putih melalui proses fagositosis yang dilakukan oleh sel monosit dan neutrofil dengan memakan virus yang tidak dikenali membentuk antigen yang kemudian antigen tersebut akan dibawa oleh sel T helper untuk membentuk sel memori yang pada akhirnya akan di lisiskan virusnya oleh sel T dan dapat mengenali jenis virusnya oleh sel B (Rustikawati, 2012). Komponen-komponen sel darah putih (leukosit) disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Komponen-komponen sel darah putih pada ikan (Berillis *et al.*, 2016)

### 2.8.3 Hemoglobin (Hb)

Hemoglobin adalah protein dalam eritrosit yang tersusun atas protein globin tidak berwarna dan pigmen haem yang dihasilkan dalam eritrosit dan kemampuan darah untuk mengangkut oksigen bergantung pada hemoglobin dalam darah (Prasetyo *et al.*, 2017). Hemoglobin adalah metalloporphyrin, kombinasi dari haem yang merupakan porphyrin besi dan globin. Pada peristiwa oksigenasi, atom besi dari haem akan berasosiasi dengan satu molekul oksigen. Setiap molekul Hb



mengandung 4 molekul haem dan 4 atom besi sehingga dapat mengangkut 4 molekul oksigen (Lusiastuti dan Hardi, 2018).

Hemoglobin merupakan bagian dari sel plasma darah yang berfungsi mengangkut oksigen di dalam darah dan kemampuan tersebut tergantung pada konsentrasi hemoglobin di dalam sel darah merah. Konsentrasi hemoglobin ditentukan berdasarkan intensitas warna atau kepekatan inti sel darah merah (Putri et al., 2013).

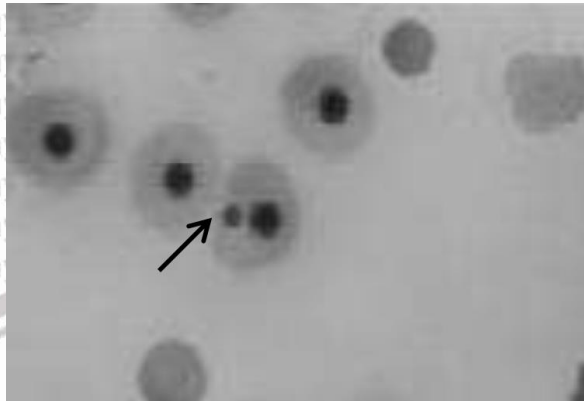
Meningkatnya hemoglobin berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah eritrosit pada ikan, sedangkan menurunnya hemoglobin dapat menyebabkan ikan tersebut anemia (Hrubec *et al.*, 2000). Menurut Prasetyo *et al.* (2017), rendahnya hemoglobin pada ikan dapat menurunkan laju metabolisme dan energi yang dihasilkan juga menjadi rendah. Hal tersebut dapat membuat ikan lemah, nafsu makan berkurang dan ikan akan terlihat diam di dasar perairan atau menggantung di bawah permukaan air. Kadar hemoglobin yang normal dalam darah ikan nila (*Oreochromis niloticus*) berkisar antara 5,05-8,33 g dL<sup>-1</sup>. Sedangkan, menurut Hardi *et al.* (2011), kadar rata-rata hemoglobin pada ikan nila normal berkisar antara 6-11,01 g/dL.

## 2.9 Mikronuklei

Uji mikronuklei pada sel darah merah (eritrosit) ikan merupakan cara untuk mendeteksi adanya genotoksik yang ada di dalam perairan. Uji mikronuklei dapat dilakukan pada beberapa organisme akuatik, dimana uji ini merupakan metode yang cepat dalam mendeteksi kerusakan kromosom (Terradas *et al.*, 2010).

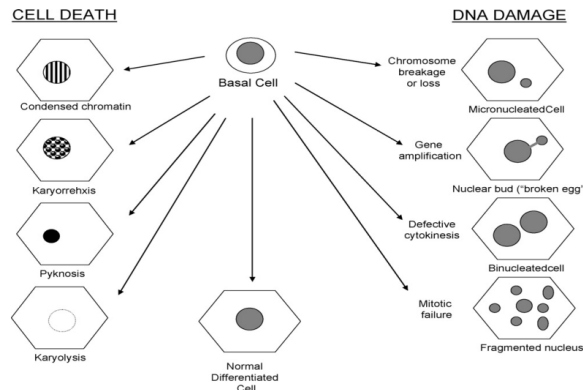
Mikronuklei atau mikronukleus merupakan inti tambahan kecil yang letaknya berada di luar inti utama dan merupakan salah satu bentuk kelainan inti sel yang diakibatkan karena kesalahan dalam proses pembelahan. Pandangan yang tampak di bawah mikroskop, mikronuklei seperti inti kedua yang ukurannya kurang

dari sepertiga diameter inti utama, memiliki bentuk oval atau bulat dengan tepi yang halus. Memiliki hubungan dengan inti utama atau tidak bertumbukan, memiliki tekstur, warna dan pembiasan yang sama dengan inti utama (Titenko-Holland *et al.*, 1998; Tolbert *et al.*, 1992).

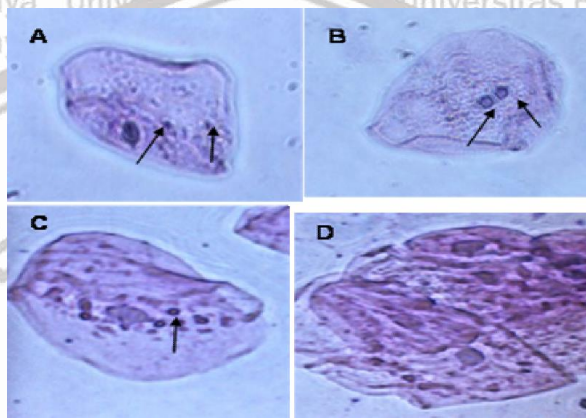


**Gambar 5.** Mikronuklei pada ikan (Obiakor *et al.*, 2012)

Uji mikronuklei pada darah ikan menjadi potensi untuk mendeteksi adanya bahan pencemar yang ada di dalam lingkungan perairan. Namun, selain mikronuklei terdapat beberapa kelainan pada inti sel yaitu *binucleated cell*, *karyorrhetic cell*, *karyolytic cell*, *nuclear budd*, dan *fragmented nucleus*. *Karyorrhetic cell* adalah penggambaran dari inti sel yang pecah menjadi keping-kepingan sehingga disebut juga *Fragmented nucleus*. *Karyolythic cell* merupakan penggambaran tidak adanya inti sel karena telah mengalami penghancuran. *Binucleated cell* merupakan kelainan dari inti sel yang terlihat seperti dua inti sel yang berukuran hampir sama yang terdapat dalam satu sel tetapi keduanya saling berhubungan. Sel tersebut terbentuk akibat dari kegagalan sitokinesis, dimana terjadi pembelahan inti namun tidak diikuti dengan pembelahan sel. *Nuclear budd* atau *Broken egg* merupakan kelainan sel yang hampir mirip dengan mikronukleus hanya saja terdapat jembatan atau penghubung antara inti utama dengan inti tambahan yang ukurannya lebih kecil. Kelainan inti sel tersebut muncul karena adanya amplifikasi gen inti sel (Holland *et al.*, 2008; Rajkokila *et al.*, 2010).



Gambar 6. Kelainan inti sel (Holland et al., 2008)

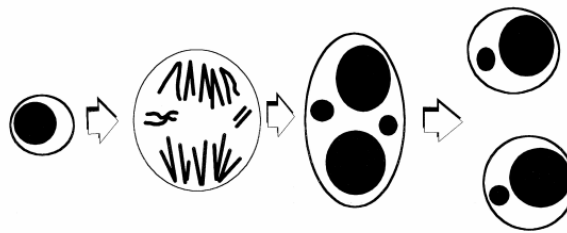


Gambar 7. Kelainan inti sel (a=Micronuclei; b=Binucleated cells; c=Karyorethic cell; d=Karyolytic cell) (Rajkokila et al., 2010)

Mikronuklei terbentuk pada mitosis antara metafase dan anafase. Pada saat metafase semua kromosom akan berjejer di ekuator kemudian masing-masing akan diikat sentromernya oleh benang spindel lalu akan ditarik ke kedua kutub pada saat anafase. Apabila dalam proses antara metafase dan anafase terdapat kerusakan nukleus, dimana akan menghasilkan fragmentasi kromosom yang tidak mengandung sentromer (asentrik), maka fragmen tersebut tidak dapat ditarik ke kutub sehingga akan tertinggal di salah satu sel baru yang terbentuk dari proses mitosis tersebut. Pada fase selanjutnya yaitu telofase, mikronukleus yang terbentuk ini akan mendapatkan perlakuan sama halnya dengan nukleus yang sejati yaitu akan mengalami proses pembentukan membran inti. Akibat dari proses tersebut, maka mikronuklei terbentuk terpisah sempurna dari inti sel yang



sesungguhnya (John, 1990 ; Fenech *et al.*, 1999). Kriteria mikronuklei adalah diameter kurang dari 1/5 diameter nukleus, lokasinya di dalam sitoplasma diluar nukleus, tidak ada kontak dengan nukleus dan Intensitas pewarnaan sama dengan nukleus. Pada individu normal frekuensi micronuklei untuk 500 *cell binucleat* adalah  $4,4 \pm 2,6$  (Kashyap dan Reddy, 2012).



**Gambar 8.** Pembentukan mikronuklei (Fenech *et al.*, 1999)

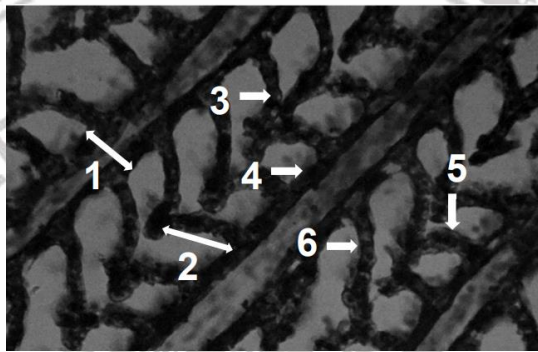
## 2.10 Histologi

Menurut Tuffery (2007), histologi merupakan studi tentang struktur jaringan yang mempelajari tingkat individu melalui organ tubuh pada sistem organ. Histologi sangat berkaitan dengan sel (sitologi) dan anatomi yang membentuk dasar struktural untuk pemahaman fungsi (fisiologi) dan persiapan untuk mempelajari struktur beserta fungsinya (patologi).

Histologi dan histopatologi dapat digunakan sebagai alat biomonitoring atau indikator kesehatan dalam studi toksisitas. Dimana perubahan histopatologi merupakan biomarker dari efek paparan stress lingkungan yang secara tidak langsung menandakan adanya perubahan fungsi fisiologis dan biokimia dalam lingkungan tersebut. Analisa histopatologi dapat digunakan untuk mengetahui gambaran kesehatan ikan melalui perubahan struktur yang terjadi pada organ yang menjadi target utama dari bahan pencemar seperti insang, hati, dan daging (Van Dyk *et al.*, 2009).

### 2.10.1 Insang

Kasus kematian ikan dalam uji toksisitas akut terjadi akibat rusaknya organ pernapasan. Insang merupakan organ osmoregulasi sehingga organ tersebut biasa digunakan sebagai target dari pengaruh perubahan lingkungan di suatu perairan (Mandia *et al.*, 2013). Menurut Mallatt (1985), insang adalah indikator sensitif stress lingkungan seperti paparan senyawa berbahaya yang ada di ekosistem perairan sebagai hasil dari aktivitas manusia. Hal tersebut dikarenakan insang menjadi organ yang secara langsung terkena dengan media air.



**Gambar 9.** Histologi insang ikan nila normal (1=Lamela primer; 2=Lamela sekunder; 3=Lakuna; 4=Sel epitel lamela primer; 5=Sel epitel lamela sekunder; 6=Sel pilar) (Rahayu *et al.*, 2013)

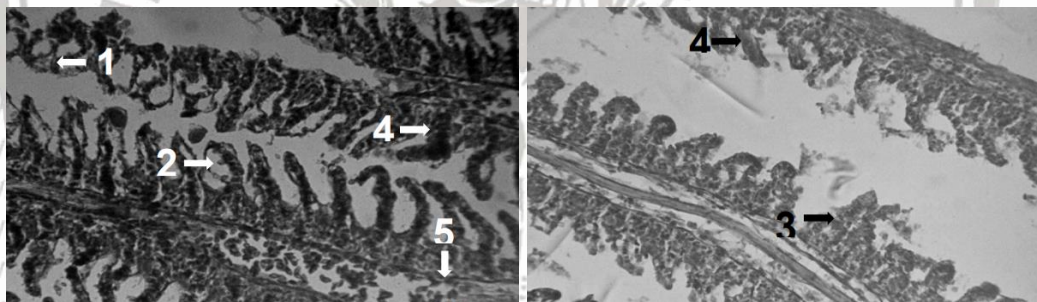
Histopatologi insang dapat digunakan sebagai biomarker dalam kegiatan penilaian kualitas air dan tingkat pencemaran lingkungan (Sudrajat *et al.*, 2020).

Banyak sekali penelitian yang dilakukan dalam pemeriksaan perubahan struktur insang ikan yang disebabkan oleh zat racun dan bahan pencemar lainnya.

Sebagian besar lesi insang pada ikan dikaitkan dengan dampak dari paparan bahan kimia maupun kondisi kualitas perairan yang kurang baik. Insang juga merupakan target utama yang sensitif terhadap berbagai stressor seperti logam berat dan nonylphenol (Bhattacharya *et al.*, 2008; Verbost *et al.*, 1987)

Masuknya bahan pencemar seperti insektisida dan logam berat ke dalam insang dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan insang ikan. Kerusakan pada

insang dapat menyebabkan terganggunya mekanisme pernapasan karena adanya penghambatan pengangkutan elektron dan fosforilasi oksidatif. Beberapa jenis kerusakan pada jaringan insang yaitu edema, hiperplasia, fusi lamela, pengangkatan sel epitel, dan nekrosis epitel. Edema (pembengkakan sel), terjadi karena akumulasi cairan di luar sel melebihi normal. Hiperplasia lamela (pembentukan jaringan sel secara berlebihan), terjadi akibat dari peningkatan jumlah sel lamela insang. Fusi lamela merupakan penggabungan dua buah atau lebih lamela sekunder. Fusi lamela dan hiperplasia lamela sekunder merupakan reaksi akut akibat iritasi oleh bahan-bahan kimia. Nekrosis merupakan kematian sel yang terjadi pada insang ikan (Rahayu *et al.*, 2013). Menurut Juanda dan Edo (2018), secara histopatologi kerusakan jaringan pada insang ikan yang disebabkan oleh bahan pencemar meliputi hipertropi, hiperplasia, vakuolisasi, berhimpitnya lamela sekunder.

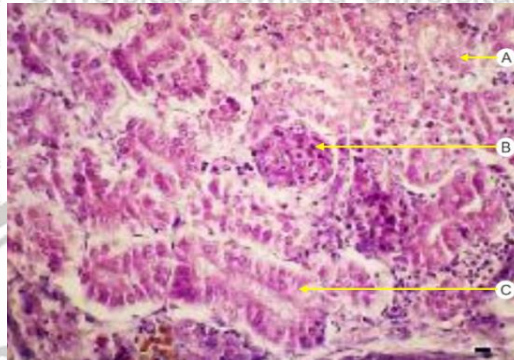


**Gambar 10.** Histologi insang ikan nila yang mengalami kerusakan (1=Nekrosis; 2=Edema; 3=Fusi lamela sekunder; 4=Hiperplasia; 5=Pengangkatan sel epitel lamela) (Rahayu *et al.*, 2013)

### 2.10.2 Ginjal

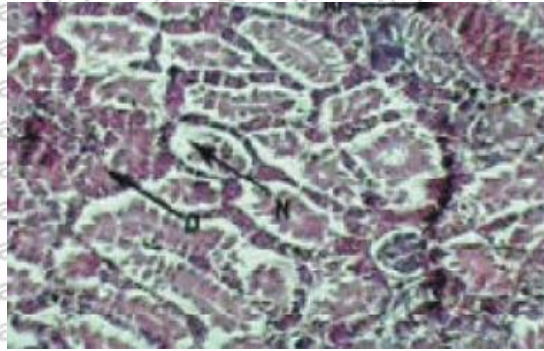
Penurunan kondisi kualitas air akibat pencemaran logam berat pada perairan dapat memicu kerusakan pada struktur organ ginjal ikan. Ginjal pada ikan melakukan fungsi penting yang berkaitan dengan elektrolit dan keseimbangan air serta mempertahankan lingkungan internal yang stabil (osmoregulasi) (Tresnati, 2013). Menurut Hardi *et al.* (2014), ginjal merupakan organ ekskresi pada ikan

yang berfungsi dalam proses penyaringan (filtrasi) dan mengekskresi bahan-bahan yang tidak dibutuhkan oleh tubuh ikan seperti logam berat. Ginjal juga dapat dijadikan sebagai indikator pencemaran lingkungan perairan. Pada kondisi ikan normal, struktur jaringan ginjal menunjukkan adanya pembuluh darah dan jaringan hematopoietik (Gambar 11).



**Gambar 11.** Histologi ginjal ikan nila normal (A=Tubulus distal; B=Glomerulus; C=Tubulus proksimal) (Apriliani dan Luthfi, 2017)

Beberapa jenis kerusakan pada struktur ginjal ikan yang disebabkan oleh pencemaran logam berat dan kualitas air yaitu nekrosis, hiperplasia dan degenerasi. Menurut Ibrahim (2013), degradasi adalah kelainan pada organ ginjal yang diakibatkan oleh adanya ruang kosong yang ditandai dengan pembengkakan epitel tubulus yang akan menyebabkan terjadinya nekrosis. Nekrosis adalah kerusakan organ ginjal yang menggambarkan keadaan dimana terjadinya penurunan aktivitas jaringan yang ditandai dengan hilangnya beberapa bagian sel satu demi satu dari satu jaringan dan dapat mengakibatkan kematian dalam kurun waktu yang tidak terlalu lama. Terjadinya kematian jaringan atau sel yang disertai dengan degenerasi sel pada ikan merupakan tahap akhir dari degenerasi irreversibel. Gejala awal dari nekrosis yaitu lisis dan hipertropi. Hiperplasia terjadi pada glomerulus yang di tandai dengan bertambahnya sel – sel di dalam jaringan terlihat semakin meningkat volume dari ukuran normal (Mandia *et al.*, 2013).



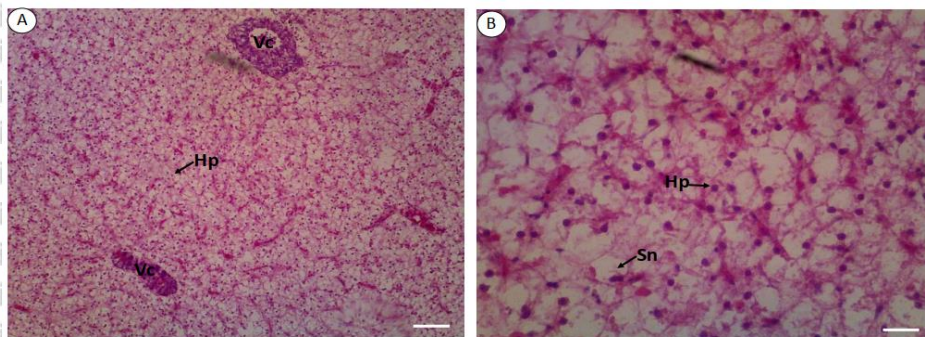
**Gambar 12.** Histologi ginjal ikan nila yang mengalami kerusakan (N=Nekrosis; D=Degenerasi) (Ibrahim, 2013).

### 2.10.3 Hati

Hati merupakan organ penting yang mensekresikan untuk proses pencernaan.

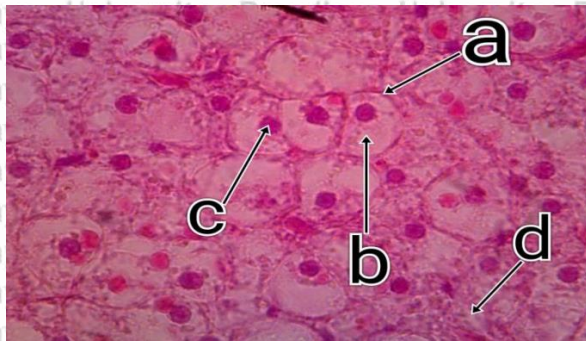
Organ ini umumnya merupakan suatu kelenjar yang kompak berwarna merah kecoklatan (Akmal *et al.*, 2018). Menurut Zulfahmi *et al.* (2017), hati merupakan organ utama yang berfungsi dalam biotransformasi berbagai macam bahan kimia.

Organ hati sangat peka terhadap paparan dari semua toksikan logam berat yang berada di lingkungan perairan. Pernyataan tersebut sama dengan Lu (1995), menyatakan bahwa hati sangat rentan terhadap pengaruh zat kimia dan menjadi organ sasaran utama dari zat beracun. Hal ini terjadi karena sebagian besar racun atau zat toksik yang masuk ke dalam tubuh setelah diserap oleh sel akan dibawa ke hati oleh vena porta hati, sehingga hati berpotensi mengalami kerusakan.



**Gambar 13.** Histologi hati ikan nila normal (Hp=Hepatosit/Sel hati; Sn=Sinusoid; Vc=Vena sentralis) (Zulfahmi *et al.*, 2017)



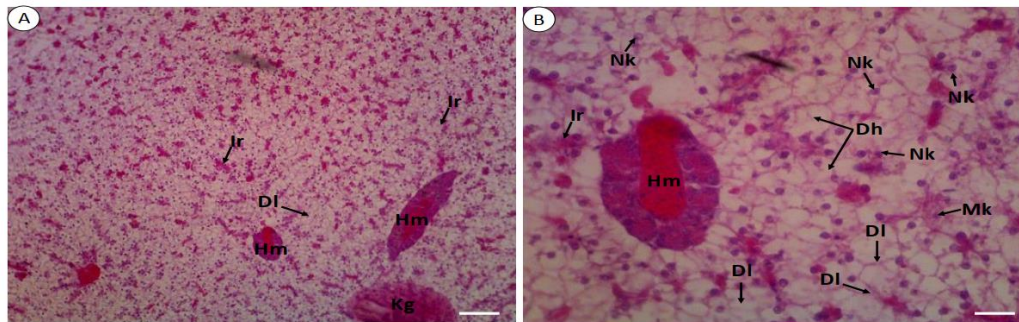


**Gambar 14.** Histologi hati ikan nila normal (a=Hepatosit; b=Sitoplasma; c=Inti sel; d=Sinusoid) (Jannah *et al.*, 2017)

Beberapa jenis perubahan mikroskopis pada hati ikan akibat paparan logam berat antara lain degenerasi vokuolar, degenerasi parenkim, peradangan setempat (lokal hepatitis), kematian sel (nekrosis), kematian jaringan setempat (lokal nekrosis), inti sel mengecil (kariopiknotis) dan inti sel hilang (kariolisis).

Perubahan-perubahan tersebut dapat terjadi walaupun telah mengalami detoksifikasi pada hati ikan melalui proses biotransformasi (Boening, 2000; Khalil, 2013).

Tingkat kerusakan hati pada ikan dikategorikan menjadi tiga, tingkat ringan yaitu perlemakan hati yang ditandai dengan pembengkakan sel, kerusakan tingkat sedang yaitu kongesti dan hemoragi, sedangkan tingkat berat ditandai dengan nekrosis (Darmono, 1995). Menurut Jannah *et al.* (2017), salah satu jenis kerusakan pada organ hati ikan nila yaitu degenerasi dan nekrosis. Degenerasi merupakan suatu kondisi ketika sel kehilangan struktur normal sel akibat pengaruh dari dalam atau dari luar sel. Degenerasi merupakan tanda awal kerusakan akibat toksin yang bersifat sementara (reversibel) dan sel masih dapat pulih atau normal kembali apabila paparan toksin dihentikan. Nekrosis adalah terjadinya kematian sel hati. Kematian sel terjadi bersamaan dengan pecahnya membran plasma. Hal tersebut disebabkan jika lemak tertimbun dalam jumlah yang banyak sehingga mengakibatkan kematian sel-sel hati. Nekrosis diawali dengan terjadinya reaksi peradangan hati berupa pembengkakan hepatosit dan kematian jaringan.



**Gambar 15.** Histologi hati ikan nila yang mengalami kerusakan (Mk=Makrofag; Kg=Kongesti; Ir=Infiltrasi sel radang; Nk=Nekrosis; Dh=Degenerasi hidrofilik; DI=Degenerasi lemak; Hm=Hemoragi) (Zulfahmi *et al.*, 2017)



**Gambar 16.** Histologi hati ikan nila yang mengalami kerusakan (a=Degenerasi parenkim; b=Nekrosis) (Jannah *et al.*, 2017)

Adanya perbedaan kerusakan struktur histologi pada organ hati ikan nila terjadi karena perbedaan perlakuan yang dilakukan. Histologi hati ikan nila mengalami kerusakan seperti degenerasi dan nekrosis. Salah satu penyebab kerusakan tersebut yaitu akibat paparan logam berat dan zat toksik lainnya. Apabila zat toksik yang masuk ke dalam tubuh ikan relatif kecil atau hanya sedikit dan fungsi detoksifikasi hati berjalan dengan baik, maka akan minim bahkan tidak akan terjadi kerusakan pada struktur organ hati. Namun, jika zat toksik yang masuk relatif besar atau banyak, maka fungsi detoksifikasi akan mengalami kerusakan (Jannah *et al.*, 2017).

## 2.11 Baku Mutu Air

Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air, mutu air adalah kondisi kualitas air yang diukur dan diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan dengan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Status mutu air adalah tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi baik atau tercemar pada suatu sumber air dalam waktu tertentu dengan membandingkan dengan baku mutu air yang telah ditetapkan.

Baku mutu air adalah batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang adanya dalam air pada sumber air tertentu sesuai dengan peruntukannya. Berdasarkan PP RI Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, klasifikasi mutu air dibagi menjadi 4 (empat) kelas, yaitu sebagai berikut:

- A. Kelas I (satu): Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air bakti air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- B. Kelas II (dua): Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana atau sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan untuk peruntukan lainnya yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- C. Kelas III (tiga): Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian dan untuk peruntukan lainnya yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.

D. Kelas IV (empat): Air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan peruntukan lainnya yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Menurut Effendi *et al.* (2013), parameter yang dapat digunakan untuk menentukan status mutu air adalah parameter berdasarkan baku mutu kualitas air sungai menurut PP RI Nomor 22 Tahun 2021. Parameter tersebut merupakan parameter yang paling relevan untuk menentukan kualitas air sungai seperti oksidasi amonium, zat karbon terlarut, desertifikasi, keseimbangan oksigen dan proses degradasi (Mannina dan Viviani, 2010).

#### 2.11.1 Metode STORET

Metode STORET merupakan metode yang digunakan untuk menentukan status mutu air yang mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang pedoman penentuan status mutu air. STORET adalah metode penentuan status mutu air dengan cara membandingkan data kualitas air dengan baku mutu yang sesuai dengan peruntukannya. Metode ini dapat digunakan untuk menilai "Overall use" air dengan menggunakan data *time series*. Pada metode STORET dapat diketahui parameter-parameter yang nilainya memenuhi atau melebihi baku mutu (Saraswati *et al.*, 2014).

Menurut Walukow (2010), penentuan status mutu air dengan metode STORET dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan pemantauan kualitas air dengan tujuan untuk mengetahui mutu dari suatu sistem akuatik. Penentuan status mutu air dengan metode STORET ini berdasarkan dari hasil analisis parameter fisika, kimia dan biologi. Kondisi perairan yang baik akan sesuai dengan nilai baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah dengan kadar atau konsentrasi maksimum yang diperbolehkan.

Metode STORET memiliki kelebihan yaitu bisa dilakukan dengan mudah dan cepat pada saat perhitungan nilai skor dari parameter, metode ini juga lebih representatif dan dapat dengan mudah diidentifikasi kontaminan yang mengakibatkan suatu pencemaran perairan. Namun, metode ini juga memiliki kekurangan yaitu data yang digunakan merupakan data periodik atau data *time series* sehingga menjadikan kurangnya efisiensi waktu, tenaga, dan biaya (Yusnita dan Triajie, 2021).



## BAB III KERANGKA PENELITIAN

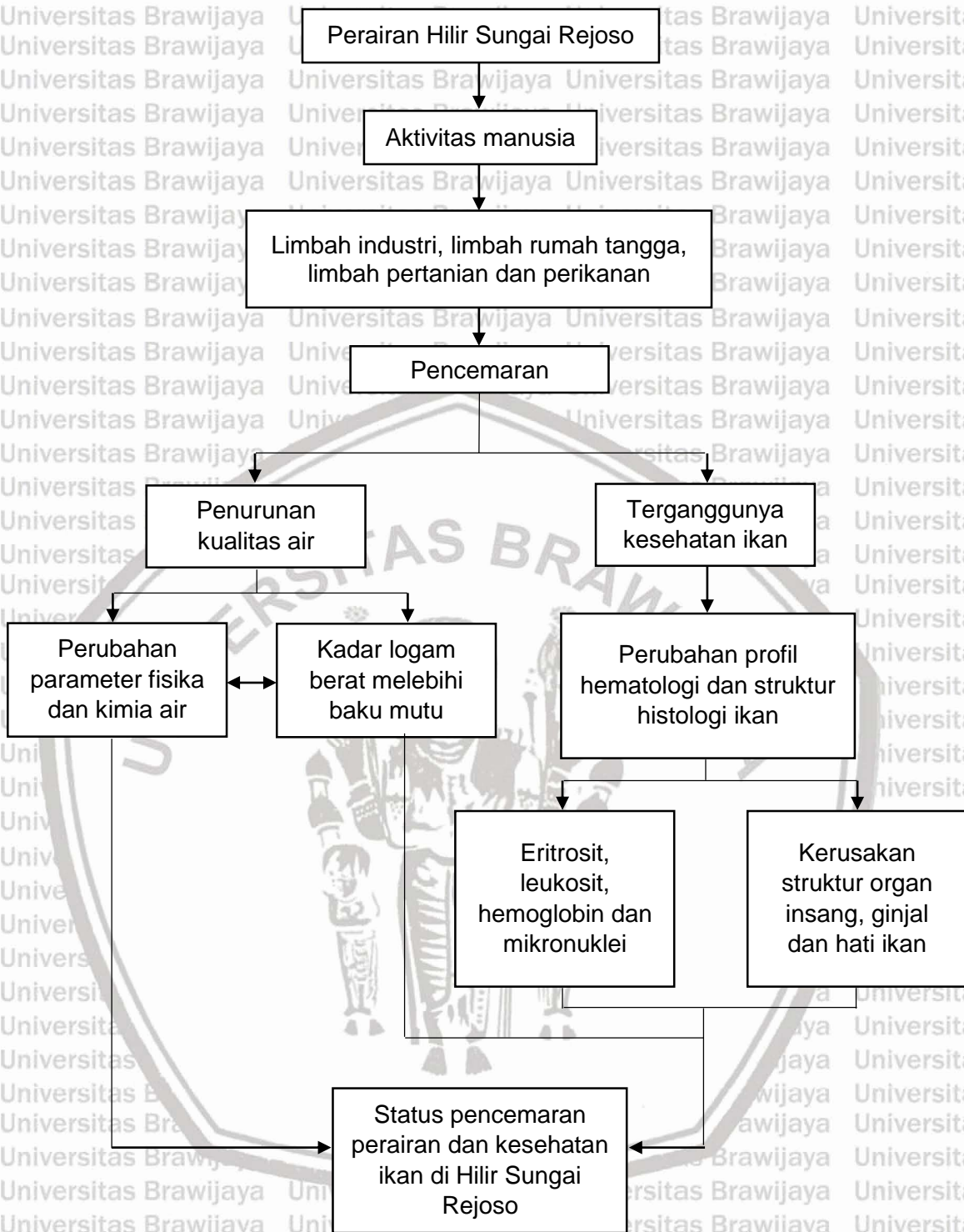
### 3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Sungai Rejoso merupakan salah satu sungai yang letaknya berada di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Panjang dan lebar sungai ini cukup besar sehingga banyak masyarakat sekitar yang melakukan aktivitas di sungai tersebut. Hal tersebut ditambah lagi dengan letak hilir sungai yang berdekatan dengan area industri, pemukiman warga dan daerah persawahan, sehingga hilir Sungai Rejoso menjadi salah satu wadah untuk menampung air buangan atau limbah. Banyak sekali limbah yang masuk ke dalam daerah aliran sungai ini, dimana limbah-limbah tersebut berasal dari limbah industri/pabrik, limbah rumah tangga, limbah pertanian dan perikanan (tambak). Hal tersebut mengakibatkan banyaknya jenis bahan pencemar yang masuk ke dalam Sungai Rejoso, salah satunya yaitu logam berat Cd.

Logam berat Cd masuk ke dalam perairan sungai dapat mencemari perairan sungai dan mengakibatkan penurunan kualitas air dan terganggunya kesehatan ikan. Tingginya kandungan logam berat di dalam perairan dapat terakumulasi di dalam tubuh ikan atau organisme akuatik yang lain. Penurunan kondisi kualitas air pada sungai diakibatkan karena nilai parameter fisika dan kimia air, serta kandungan kadar logam berat yang telah melebihi nilai baku mutu. Hal tersebut dapat mempengaruhi kondisi kesehatan ikan, yaitu terjadinya perubahan pada profil hematologi dan histologi ikan. Pada profil hematologi yaitu dapat mempengaruhi jumlah sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), haemoglobin (Hb) dan mikronuklei. Sedangkan yang terjadi pada struktur histologi ikan yaitu terjadinya kerusakan pada jaringan organ insang, ginjal dan hati ikan.

Status kesehatan ikan perlu diketahui dan diperhatikan mengingat ikan merupakan salah satu biomarker perairan. Kesehatan ikan, respon fisiologis dan kelangsungan hidup ikan dapat diamati berdasarkan kondisi kualitas air dan status pencemaran lingkungan yang terjadi pada perairan sungai.





Gambar 17. Kerangka Konsep Penelitian

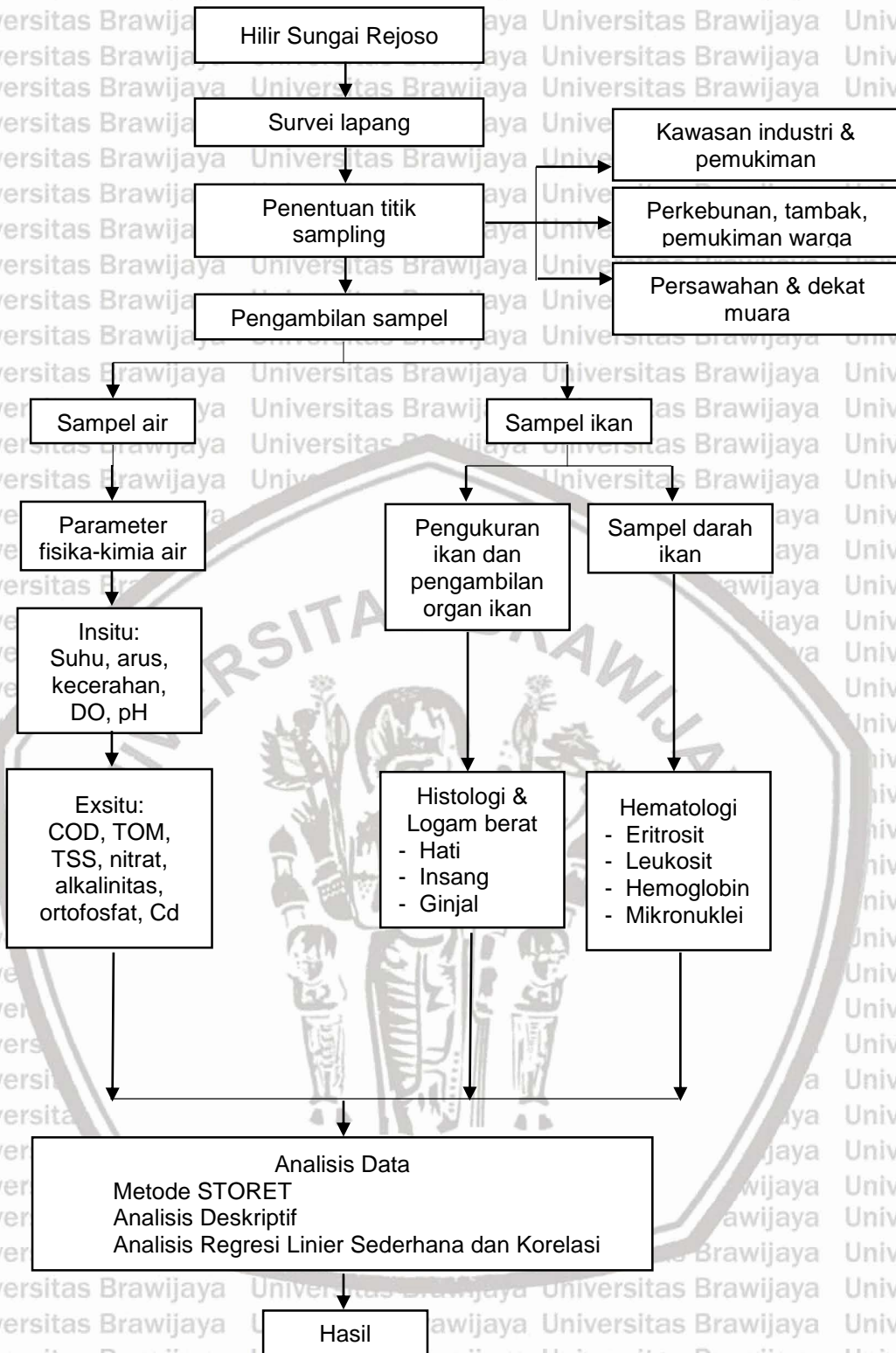




### 3.2 Kerangka Operasional Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Sungai Rejoso, Pasuruan dengan pembagian 3 lokasi (stasiun). Pada setiap stasiun terdapat 3 titik yang sesuai dengan titik koordinat yang telah ditentukan sebelumnya. Data yang diambil meliputi data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung di lapang, yaitu meliputi sampel air dan sampel ikan. Sedangkan, data sekunder diperoleh dari narasumber dan instansi yang terkait serta melalui beberapa sumber lain seperti buku, jurnal dan karya ilmiah lainnya.

Setelah dilakukan survei dan penentuan titik pengambilan sampel, pelaksanaan penelitian dilakukan dengan 3 tahapan, yaitu Tahap 1 meliputi kegiatan pengambilan sampel air dan ikan, pengukuran parameter kualitas air (*in-situ*) seperti suhu, DO, pH, arus dan kecerahan serta pengambilan sampel darah ikan. Tahap 2 meliputi pengamatan parameter kualitas air (*ex-situ*) seperti COD, nitrat, ortofosfat, TSS, TOM, alkalinitas, serta pengujian pada logam berat Cd. Pada logam berat Cd menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS). Selain itu, dilakukan pembedahan pada ikan untuk diambil organ insang, hati dan ginjal untuk dilakukan pengujian struktur histologi dan pengujian logam berat Cd pada organ. Pada tahap ini juga dilakukan pengujian darah ikan pada beberapa parameter darah yaitu meliputi jumlah sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), haemoglobin (Hb) dan mikronuklei. Tahap 3 meliputi analisis data dengan menggunakan analisis deskriptif untuk mendeskripsikan hasil pengamatan hematologi, histologi ikan, serta kandungan logam berat Cd pada organ, metode STORET digunakan untuk menentukan status pencemaran perairan dan analisis regresi korelasi untuk mengetahui hubungan antara parameter kualitas air dengan kesehatan ikan untuk diperoleh hasilnya.



Gambar 18. Kerangka Operasional Penelitian



### 3.3 Kebaharuan Penelitian

Hasil dari penelitian terdahulu menjadi titik awal dari perkembangan penelitian yang sedang dikerjakan saat ini. Penelitian tentang analisis pencemaran sungai sudah banyak sekali dilakukan oleh beberapa peneliti. Hasil dari penelitian mengenai topik tersebut diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat dan bisa menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya. Kebaharuan penelitian ini adalah untuk menemukan dan memberikan informasi mengenai status kondisi di hilir Sungai Rejoso saat ini, serta mengetahui kelayakan perairan di hilir Sungai Rejoso untuk kehidupan ikan dan organisme yang lain.

Berikut adalah beberapa daftar penelitian terdahulu yang dijadikan referensi dan berkaitan dengan penelitian yang sedang dilaksanakan saat ini.

**Tabel 1.** Referensi penelitian terdahulu

No	Nama/Tahun	Judul	Hasil
1	Badawi, Hamam (2017)	Status Hematologi dan Mikronuklei Ikan Tawes ( <i>Puntius javanicus</i> ) yang Tertangkap di Sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan Jawa Timur	Berdasarkan dari hasil pengamatan darah dan mikronuklei pada ikan tawes dapat dikatakan bahwa perairan Sungai Rejoso mengalami pencemaran sehingga dapat mengganggu kesehatan ikan. Berdasarkan hasil uji kualitas air, diketahui di Sungai Rejoso terdapat kadar Hg dan Cd yang melebihi ambang batas perairan kelas II yang ditentukan dalam Baku Mutu Air kelas II PP No. 82, Th 2001.
2.	Idzi et al., 2018	Kadar hematokrit dan Hemoglobin Ikan Sapu-sapu ( <i>Pterygoplichthys pardalis</i> ) Terpapar Logam Berat Merkuri Klorida	Hasil penelitian menunjukkan nilai hematokrit berbeda nyata dengan kontrol sebesar 36,91%. Perubahan nilai hematokrit dapat menggambarkan adanya tekanan fisiologis terhadap ikan. Hal ini disebabkan karena ikan mengalami hipoksia akibat terpapar merkuri. Nilai hemoglobin selama penelitian mengalami penurunan antar ikan uji. Penurunan persentase hemoglobin disebabkan karena

3. Ghazali et al., 2013  
Evaluasi Dampak Pembuangan Limbah Cair Pabrik Kertas Terhadap Kualitas Air Sungai Klinger Kabupaten Nganjuk  
paparan merkuri yang dapat merusak membran sel darah merah dan penurunan nilai hematokrit. Berdasarkan hasil pengamatan kualitas air di Sungai Klinger didapatkan nilai pH, DO, COD, TSS masih berada diambang batas baku mutu, namun untuk nilai BOD melebihi baku mutu. Berdasarkan hasil indeks pencemaran (IP) menunjukkan bahwa stasiun I tergolong sungai dengan tingkat pencemaran rendah (0,3) karena letaknya sebelum buangan limbah pabrik, sedangkan stasiun III tergolong pencemaran ringan (2,7). Menurunnya kondisi kualitas air di sungai tersebut disebabkan karena adanya masuknya limbah cair pabrik yang mengandung bahan organik yang tinggi. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa air sungai mengandung Cd dengan konsentrasi 0,004-0,006 mg/L atau masih berada dibawah nilai ambang baku mutu 0,01 mg/L. Hasil pengukuran kandungan Cd pada ketiga ikan Kelabau berkisar 0,0002-0,0033 mg/kg dan masih dibawah ambang batas baku mutu Cd untuk ikan 0,1 mg/kg. Namun pada hasil pemeriksaan struktur mikroanatomi insang ikan Kelabau memperlihatkan adanya alterasi berupa edema, peradangan, kongesti, hemoragi, hipertrofi, hiperplasia, fusi dan adanya invasi ektoparasit serta nekrosis. Kerusakan yang terjadi disebabkan oleh kadar logam berat Cd dan zat toksik lainnya di dalam perairan.
4. Amalia et al., 2016  
Kandungan Kadmium (Cd) pada Air, Daging serta Mikroanatomi Insang Ikan Kelabau (*Osteochilus melanopleurus*) di Muara Sungai Martapura  
Berdasarkan hasil pengamatan preparat organ insang pada ikan mujair yang hidup di air Lagoon Nusa Dua, Bali ditemukan beberapa jenis kerusakan organ yaitu hiperplasia lamela sekunder, fusi lamela sekunder, edema lamela sekunder dan
5. Lestari et al., (2018)  
Struktur Histologi Insang Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) sebagai Indikator Kualitas Air Lagoon Nusa Dua, Bali  
Berdasarkan hasil pengamatan preparat organ insang pada ikan mujair yang hidup di air Lagoon Nusa Dua, Bali ditemukan beberapa jenis kerusakan organ yaitu hiperplasia lamela sekunder, fusi lamela sekunder, edema lamela sekunder dan

telangiektaksis. Perubahan histologi yang terjadi pada organ insang disebabkan karena keadaan air yang sangat keruh, adanya senyawa amonia ( $\text{NH}_3$ ), hydrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), timbal (Pb) dan besi (Fe). Hasil dari pengukuran kualitas air berada diatas ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan.

### 3.4 Strategi Publikasi

Publikasi karya ilmiah merupakan salah satu tahapan yang wajib dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir (tesis). Publikasi ini dilakukan setelah pelaksanaan penelitian. Publikasi yang dipersyaratkan pada pelaksanaan Kurikulum Program Magister Budidaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya adalah Jurnal Internasional. Publikasi artikel penelitian dilakukan di Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Science yaitu jurnal internasional (terindex DOAJ) dengan judul "Analysis of Histopathology and Heavy Metals Contents of Cadmium (Cd) in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Downstream at The Rejoso River, Pasuruan Regency, East Java".

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Materi Penelitian

Materi pada penelitian ini adalah Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dan air di hilir Sungai Rejoso. Pada pengamatan kesehatan ikan meliputi profil hematologi dengan parameter yaitu jumlah sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), haemoglobin dan mikronuklei, selanjutnya kerusakan histologi dengan pengamatan pada organ insang, ginjal dan hati. Parameter kualitas air yang diteliti yaitu parameter fisika meliputi suhu, kecerahan, kecepatan arus, dan TSS (*Total Suspended Solid*) dan parameter kimia meliputi pH, DO (*Dissolved Oxygen*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TOM (*Total Organic Matter*), nitrat, ortofosfat dan Alkalinitas, serta pengamatan logam berat Kadmium (Cd).

### 4.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April hingga September 2021 dengan dua tahap yaitu pengambilan sampel dan pengamatan sampel. Proses pengambilan sampel air dan ikan dilaksanakan di Hilir Rejoso, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Proses pengamatan beberapa sampel analisis kualitas air dan profil hematologi ikan dilaksanakan di Laboratorium Unit Pelaksanaan Teknis Perikanan Air Tawar Sumber Pasir, Universitas Brawijaya. Pengamatan profil histologi ikan dilaksanakan di Laboratorium Anatomi dan Histologi Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya. Pengamatan logam berat dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Brawijaya. Pengamatan parameter COD dilaksanakan di Laboratorium Jasa Tirta I, Malang.

#### 4.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan digunakan untuk mendapatkan hasil dari pengamatan. Penggunaan alat digunakan untuk pengukuran parameter fisika dan kimia air di lapang dan laboratorium. Pengukuran di lapang (*in situ*) yaitu meliputi pengukuran suhu, kecepatan arus, kecerahan, pH dan DO (*Dissolved Oxygen*). Sedangkan, pengukuran di laboratorium bersifat (*ex situ*) yaitu meliputi pengukuran TSS (*Total Suspended Solid*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), Nitrat, Ortofosfat, TOM (*Total Organic Matter*), dan logam berat Cd. Alat dan bahan yang digunakan selama penelitian di lapang dan laboratorium disajikan pada Lampiran 2.

#### 4.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode survei dengan analisis data secara deskriptif. Metode survei digunakan untuk mendapatkan data primer dan data sekunder, sedangkan metode deskriptif digunakan untuk mendeskripsikan atau menggambarkan kondisi di hilir Sungai Rejoso dengan melakukan pengamatan secara langsung pada objek yang diteliti yaitu kualitas air sungai dan kesehatan ikan (profi hematologi dan histologi ikan).

Metode survei merupakan metode yang digunakan dalam penelitian dengan cara pengumpulan, penyajian dan penganalisaan data. Survei ini dapat dilakukan dengan cara sensus maupun sampling yaitu mencatat sebagian kecil dari populasi namun diharapkan hasil yang diperoleh dapat menggambarkan sifat dari populasi objek yang diteliti (Arfiatin et al., 2013). Metode deskriptif adalah sebuah kegiatan yang bertujuan untuk menggambarkan atau menjabarkan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai suatu masalah atau keadaan atau yang terjadi saat ini dan sesuai dengan kondisi di lapang (Arfiatin et al., 2013).

#### 4.4.1 Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu teknik *Purposive Sampling*. *Purposive sampling* adalah suatu metode yang digunakan untuk pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan penelitian yang bertujuan untuk memperoleh satuan sampling yang memiliki karakteristik yang dikehendaki (Arfiatin et al., 2013). Alasan menggunakan metode ini dikarenakan luasnya lokasi penelitian sehingga cukup sulit jika diteliti secara keseluruhan dikarenakan keterbatasan tenaga, waktu dan biaya.

Data penelitian yang diperlukan, yaitu data primer atau data lapang maupun data hasil pengamatan laboratorium yaitu berupa data parameter fisika-kimia kualitas air, data hasil hematologi dan histologi ikan. Sedangkan, data sekunder merupakan data yang diperoleh dari buku, referensi, jurnal, literatur maupun kajian pustaka lainnya yang berhubungan dengan penelitian sehingga dapat dijadikan sebagai data pendukung (Wignjosoebroto, 2000).

#### 4.4.2 Penentuan Stasiun Pengamatan

Stasiun pengamatan ditentukan dengan cara melihat secara langsung lokasi penelitian dan kondisi sungai agar memudahkan dalam pengambilan sampel.

Lokasi pengambilan sampel dan pengukuran kualitas air terbagi menjadi 3 stasiun yang berbeda, dimana pada setiap stasiun terdapat 3 titik yang berbeda (Sub stasiun). Metode penentuan lokasi stasiun dipilih berdasarkan teknik *Purposive Sampling*. *Purposive sampling* adalah suatu metode yang menentukan titik sampling berdasarkan pertimbangan penelitian yang bertujuan untuk memperoleh satuan sampling yang memiliki karakteristik yang dikehendaki (Arfiatin et al., 2013). Kondisi stasiun yang ditentukan didasarkan pada kondisi tata guna lahan serta aktivitas manusia.



Pemilihan stasiun 1 yaitu di kawasan dekat dengan industri dan pemukiman warga, sehingga banyak buangan limbah industri dan limbah domestik (rumah tangga). Pemilihan stasiun 2 yaitu di kawasan dekat dengan pertambakan, perkebunan dan pemukiman warga sehingga banyak buangan limbah cair dari kegiatan pertambakan, limbah dari kegiatan agrikultur dan limbah domestik (rumah tangga). Pemilihan stasiun 3 yaitu di kawasan dekat dengan persawahan dan dekat muara sehingga buangan limbah didominasi dengan limbah agrikultur (pupuk dan bahan kimia pertanian). Jarak antara stasiun 1 ke stasiun 2 yaitu sekitar 1,4 km dan jarak stasiun 2 ke stasiun 3 yaitu sekitar 1,5 km. Tujuan dari pemilihan ketiga stasiun tersebut diharapkan dapat mewakili tata guna lahan dari hilir Sungai Rejoso. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1.

Pembagian stasiun pengambilan sampel dapat dilihat pada tabel berikut ini (Tabel 4):

**Tabel 2.** Lokasi titik sampling pengamatan

Stasiun	Keterangan
1	Dekat dengan kawasan industri dan pemukiman warga Titik 1: Lintang -7° 41' 4.051"S dan Bujur 112° 57' 38.728"E Titik 2: Lintang -7° 41' 4.002"S dan Bujur 112° 57' 38.687"E Titik 3: Lintang -7° 41' 3.642"S dan Bujur 112° 57' 38.858"E
2	Dekat dengan perkebunan, tambak dan pemukiman warga Titik 1: Lintang -7° 40' 37.870"S dan Bujur 112° 57' 38.885"E Titik 2: Lintang -7° 40' 20.855"S dan Bujur 112° 57' 36.378"E Titik 3: Lintang -7° 40' 21.068"S dan Bujur 112° 57' 36.433"E
3	Dekat dengan persawahan dan muara Titik 1: Lintang -7° 39' 40.898"S dan Bujur 112° 57' 21.524"E Titik 2: Lintang -7° 39' 39.932"S dan Bujur 112° 57' 21.288"E Titik 3: Lintang -7° 39' 38.947"S dan Bujur 112° 57' 21.107"E

#### 4.5 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel penelitian dilakukan sebanyak 3 kali secara *time series* dengan selang waktu 1 bulan sekali. Tujuan pengambilan data secara *time series* yaitu sebagai estimasi pertumbuhan ikan serta untuk menganalisa perubahan kualitas air dari waktu ke waktu. Sampel yang diambil yaitu sampel air sungai untuk pengamatan kualitas air dan logam berat serta sampel ikan nila untuk pengamatan kadar logam berat pada organ insang, ginjal dan hati, hematologi dan histologi ikan. Pengambilan sampel air diambil sebanyak 3 botol sampel dari tiap stasiun (3 sub stsiun) artinya dibutuhkan 9 botol sampel dari semua stasiun. Pengambilan sampel ikan nila dilakukan dengan cara dipancing dari masing-masing stasiun. Ukuran ikan nila yang didapatkan yaitu panjang berkisar antara 17-22,3 cm dan berat berkisar antara 117,8-230,45 gram. Jumlah sampel ikan nila yang dibutuhkan yaitu 9 sampel ikan nila dari semua stasiun.

#### 4.6 Kegiatan di Lapang

##### 4.6.1 Pengukuran Parameter Kualitas Air

Pengukuran parameter fisika dan kimia air dilakukan sesuai dengan pembagian titik per stasiun. Terdapat 9 titik dari 3 stasiun yang sudah ditentukan di sepanjang hilir Sungai Rejoso. Pengukuran parameter kualitas air di lapang (*in situ*) meliputi suhu, kecepatan arus, kecerahan, pH, dan DO (*Dissolved Oxygen*). Sedangkan untuk parameter *ex situ* yang meliputi TSS (*Total Suspended Solid*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), Alkalinitas, TOM (*Total Organic Matter*), Nitrat, Ortofosfat dan logam berat Cd dilakukan di laboratorium. Pengamatan logam berat Cd diambil dari sampel air sungai dengan jumlah 9 sampel dari 3 stasiun.

#### 4.6.2 Pengambilan Sampel Ikan

Metode yang digunakan untuk pengambilan sampel ikan yaitu metode *Purposive sampling*, dimana sampel ikan diambil sesuai dengan pembagian stasiun yang sudah ditentukan. Sampel ikan diambil dengan menggunakan alat tangkap pancing ulur oleh nelayan. Sampel ikan yang dipilih adalah ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang terdapat di sepanjang hilir Sungai Rejoso. Jumlah ikan yang diambil dalam satu kali sampling yaitu sebanyak 9 ekor ikan dari 3 titik stasiun.

Penanganan yang dilakukan pada sampel ikan pada saat di lapang yaitu ikan diletakkan pada *Cool box* yang telah terisi air dan kemudian diberi aerator. Tujuannya agar sampel ikan yang didapatkan tetap dalam kondisi hidup, agar nantinya didapatkan sampel darah yang bagus untuk penelitian profil hematologi ikan.

#### 4.7 Kegiatan di Laboratorium

##### 4.7.1 Pembedahan Sampel Ikan

Sebelum dilakukan pembedahan pada sampel ikan, terlebih dahulu dilakukan pengukuran panjang dan berat ikan dengan menggunakan penggaris dan timbangan digital. Setelah pengukuran panjang dan berat ikan selesai, selanjutnya dilakukan pembedahan sampel ikan. Sampel ikan dibedah dengan menggunakan *Set section* yaitu mulai dari bagian anus hingga belakang tutup insang (*Operculum*). Selanjutnya, dilakukan pengambilan beberapa organ yang akan diteliti.

##### 4.7.2 Pengambilan Sampel Organ Ikan

Sampel ikan yang sudah dibedah selanjutnya diambil beberapa organnya. Bagian organ yang diambil yaitu insang, hati, dan ginjal ikan. Masing-masing dari

organ tersebut kemudian diletakkan ke dalam pot sampel yang sudah diberi formalin 10% dan label. Sampel organ ikan nantinya akan digunakan untuk pengamatan profil histologi ikan.

#### 4.8 Analisis Parameter Kualitas Air

##### 4.8.1 Suhu

Alat yang digunakan untuk pengukuran suhu sama dengan alat yang digunakan untuk mengukur oksigen terlarut. Alat yang digunakan yaitu DO meter (*Oxygen meter*). Menurut Andria dan Rahmaningsih (2018), prosedur pengukuran suhu dengan menggunakan DO meter adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat yang akan digunakan dan memastikan alat berfungsi dengan baik.
2. Melakukan kalibrasi dengan cara menekan tombol "*power*" untuk menyalakan DO meter.
3. Mengarahkan tombol ke " $O_2$ " lalu tekan tombol "*zero*", kemudian memasang probe ke DO meter dengan benar.
4. Menunggu sekitar 5 menit hingga skala (angka) stabil yaitu 20,8 atau 20,9.
5. Jika skala sudah menunjukkan angka tersebut arahkan tombol ke "*mg/l*" lalu tekan tombol "*cal*".
6. Setelah proses kalibrasi selesai, kemudian memasukkan probe ke dalam perairan hingga sensor tercelup secara keseluruhan.
7. Menunggu hingga skala (angka) pada DO meter stabil. Pada DO meter akan tertera nilai suhu (bagian bawah) dan oksigen terlarut (bagian atas).
8. Setelah itu tekan tombol "*hold*" untuk menyimpan data yang diperoleh.
9. Setelah pengukuran sudah selesai tekan tombol "*power*" untuk mematikan DO meter dan keringkan probe dengan menggunakan kain atau *tissue*.

#### 4.8.2 Kecepatan Arus

Kecepatan arus diukur dengan menggunakan *Current meter*. Cara mengukur kecepatan arus berdasarkan (SNI 8066:2015), adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat yang akan digunakan dan memastikan alat berfungsi dengan baik.
2. Memasang *current meter* dengan baik dan benar, selanjutnya melakukan kalibrasi.
3. Menekan tombol "on/off" untuk menyalakan alat.
4. Memasukkan *current meter* ke dalam perairan dan mengarahkan tanda panah sesuai arah arus.
5. Menekan tombol "reset" agar angka *current meter* kembali ke awal (mulai dari nol).
6. Menekan tombol "zero" dan timer menggunakan *stopwatch*, kemudian tunggu sekitar 20 detik.
7. Mencatat angka yang tertera pada *current meter* tersebut, kemudian menekan "on/off" untuk mematikan alat

#### 4.8.3 Kecerahan

Kecerahan diukur dengan menggunakan *Secchi disk*. Menurut Mainassy (2017), cara mengukur kecerahan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat yang akan digunakan.
2. Memasukkan *secchi disk* ke dalam perairan secara perlahan hingga batas tidak terlihat pertama kali, kemudian mencatat ke dalamannya sebagai D1.
3. Selanjutnya, memasukkan *secchi disk* ke dalam perairan lebih dalam lagi sampai tidak terlihat sama sekali

4. Tarik *secchi disk* ke permukaan secara perlahan sampai terlihat pertama kali, kemudian mencatat kedalamannya sebagai D2
5. Hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{D1 + D2}{2}$$

Keterangan:

- D : Kecerahan
- D1 : *Secchi disk* tidak terlihat pertama kali (cm)
- D2 : *Secchi disk* terlihat pertama kali (cm)

#### 4.8.4 Total Suspended Solid (TSS)

Menurut Winnarsih *et al.*, (2016), pengukuran TSS dapat dilakukan metode Gravimetri. Metode ini digunakan untuk menentukan residu tersuspensi yang terdapat dalam contoh uji air dan air limbah secara gravimetri. Cara pengukuran TSS berdasarkan SNI 6989.3:2019 adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Melakukan penyaringan menggunakan alat vakum kemudian membasahi saringan dengan menggunakan air suling.
3. Menekan tombol "power" pada alat vakum untuk melakukan penyaringan. Penyaringan dilakukan sampai air sampel tersaring sepenuhnya
4. Memindahkan kertas saring ke dalam wadah timbang aluminium sebagai penyangga.
5. Memanaskan kertas saring menggunakan oven selama 1 jam dengan suhu 105 °C kemudian didinginkan.
6. Menimbang kertas saring sebagai berat akhir.
7. Hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$TSS : \frac{(A-B) \times 1000}{V}$$



Keterangan:

TSS : Total Suspended Solid (mg/L)

A : Berat kertas saring dan residu kering (mg)

B : Berat kertas saring (mg)

V : Volume contoh uji (L)

#### 4.8.5 Derajat Keasaman (pH)

Alat yang digunakan untuk pengukuran pH yaitu pH meter. pH meter juga dapat digunakan untuk mengukur suhu perairan. Prosedur pengukuran pH berdasarkan SNI 6989.11:2019 adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat yang akan digunakan dan memastikan alat berfungsi dengan baik.
2. Menekan tombol "power" untuk menyalakan alat.
3. Membersihkan elektroda dengan menggunakan akuades, kemudian mengeringkan dengan menggunakan kain atau *tissue*.
4. Mencilupkan elektroda ke dalam perairan atau sampel uji sampai angka pada pH meter stabil, kemudian mencatat angka yang didapatkan.
5. Menekan tombol "power" untuk mematikan alat. Setelah itu membilas kembali elektroda dengan akuades dan dikeringkan.

#### 4.8.6 Dissolved Oxygen (DO)

Alat yang digunakan untuk pengukuran oksigen terlarut sama dengan alat yang digunakan untuk mengukur suhu. Alat yang digunakan yaitu DO meter (*Oxygen meter*). Menurut Andria dan Rahmaningsih (2018), prosedur pengukuran DO dengan menggunakan DO meter adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat yang akan digunakan dan memastikan alat berfungsi dengan baik.
2. Melakukan kalibrasi dengan cara menekan tombol "power" untuk menyalakan DO meter.

3. Mengarahkan tombol ke "O<sub>2</sub>" lalu tekan tombol "zero", kemudian memasang probe ke DO meter dengan benar.
4. Menunggu sekitar 5 menit hingga skala (angka) stabil yaitu 20,8 atau 20,9.
5. Jika skala sudah menunjukkan angka tersebut arahkan tombol ke "mg/l" lalu tekan tombol "cal".
6. Setelah proses kalibrasi selesai, kemudian memasukkan probe ke dalam perairan hingga sensor tercelup secara keseluruhan.
7. Menunggu hingga skala (angka) pada DO meter stabil. Pada DO meter akan tertera nilai suhu (bagian bawah) dan oksigen terlarut (bagian atas).
8. Setelah itu tekan tombol "hold" untuk menyimpan data yang diperoleh.
9. Setelah pengukuran sudah selesai tekan tombol "power" untuk mematikan DO meter dan keringkan probe dengan menggunakan kain atau *tissue*.

#### 4.8.7 Chemical Oxygen Demand (COD)

Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) berdasarkan (SNI 6989.2:2009) dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Memasukkan air sampel sebanyak 10 ml ke dalam labu Erlenmeyer 250 ml.
3. Menambahkan larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,025 N sebanyak 5 ml dan 3 buah batu didih dalam air sampel.
4. Menambahkan asam sulfat sebanyak 15 ml ke dalam air sampel dan kocok perlahan.
5. Memanaskan sampel diatas *hot plate* selama 2 jam dengan suhu 365 °C. Selanjutnya didinginkan dan air sampel diencerkan dengan menambahkan akuades 100 ml.
6. Menambahkan 3-4 tetes indikator feroin, kemudian lakukan titrasi dengan menggunakan larutan FAS 0,1 N dari warna hijau-biru menjadi coklat-merah.



7. Hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$COD = \frac{V (\text{blanko} - \text{sampel}) \times NFAS \times 8 \times 1000}{ml \text{ sampel}} \times \text{Faktor pengencer}$$

Keterangan :

COD : Chemical Oxygen Demand (mg/L)

Volume blanko : Volume air kontrol

Volume sampel : Volume air sampel

N FAS : Normalitas larutan FAS

8 : Jumlah atom relatif dari O<sub>2</sub>

1000 : Konversi dari liter menjadi mililiter

#### 4.8.8 Total Organic Matter (TOM)

Pengukuran *Total Organic Matter* (TOM) berdasarkan SNI 06.6989.22:2004

dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Masukkan 25 ml air sampel ke dalam Erlenmeyer.
3. Tambahkan KMnO<sub>4</sub> 0,01 N sebanyak 4,75 ml dengan menggunakan pipet volume, apabila suda terjadi perubahan warna menjadi warna pink kemudian tambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 5 ml .
4. Panaskan di atas *hot plate* sampai suhu 75 °C kemudian angkat dan dinginkan, apabila suhu telah turun menjadi 65 °C tambahkan Na-Oxalate 0,01 N secara perlahan sampai tidak berwarna (bening).
5. Lakukan titrasi dengan KMnO<sub>4</sub> 0,01 N sampai berbentuk warna pink pertama kali, kemudian catat volume KMnO<sub>4</sub> 0,01 N yang telah terpakai sebagai ml titran x (ml).
6. Lakukan langkan 1-5 dengan menggunakan sampel aquades dan dicatat sebagai nilai y (ml).
7. Hitunglah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$TOM = \frac{(x - y) \times 31,6 \times 0,01 \times 1000}{n}$$

Keterangan:

TOM : Total Organic Matter (mg/L)

x :  $\text{KMnO}_4$  yang digunakan (0,01 N) untuk mentitrasi sampel air waduk

y :  $\text{KMnO}_4$  yang digunakan (0,01 N) untuk mentitrasi sampel air aquades

31,6 : 1/5 dari BM  $\text{KMnO}_4$  (1 mol  $\text{KMnO}_4$  melepas 5 oksigen dalam reaksi)

1000 : Konversi L ke mL

n : Jumlah air sampel yang digunakan

#### 4.8.9 Nitrat

Pengukuran kadar nitrat di perairan berdasarkan SNI M-49-1990-03 adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Mengambil air sampel sebanyak 12,5 ml dan menuangkan ke dalam cawan porselen lalu diaduk dengan spatula.
3. Menguapkan air sampel di atas *hot plate* sampai kering (terbentuk kerak nitrat), kemudian didinginkan.
4. Menambahkan 0,25 ml asam fenol disulfonik, kemudian diaduk dengan spatula dan diencerkan dengan 5 ml akuades.
5. Menambahkan dengan meneteskan  $\text{NH}_4\text{OH}$  perbandingan 1:1 (merupakan perbandingan antara konsentrasi  $\text{NH}_3$  dan akuades) sampai berwarna kuning.
6. Selanjutnya diencerkan dengan akuades sampai 12,5 ml, kemudian dihomogenkan dan dimasukkan ke dalam kuvet.
7. Membandingkan dengan larutan standar pembanding yang telah dibuat baik secara visual atau dengan spektrofotometer yang panjang gelombang 410  $\mu\text{m}$ .

#### 4.8.10 Ortofosfat

Pengukuran ortofosfat berdasarkan SNI 6989.31:2005 dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Memasukkan air sampel sebanyak 25 ml ke dalam erlenmeyer yang berukuran 50 ml.
3. Menambahkan 1 ml *Ammonium Molybdate* ke dalam air sampel dan dihomogenkan.
4. Menambahkan 5 tetes larutan  $\text{SnCl}_2$  yang masih baru dibuat pada sampel dan dihomogenkan. Warna biru akan timbul (selama 10-12 menit) sesuai dengan kadar fosfat.
5. Memasukkan 1 ml *Ammonium Molybdate* ke dalam cuvet.
6. Membandingkan warna biru air sampel dengan larutan standar yang telah dibuat, baik secara visual atau dengan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 690 nm.

#### 4.8.11 Alkalinitas

Pengukuran alkalinitas berdasarkan (SNI 6989.59:2008) dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Memasukkan air sampel sebanyak 25 ml ke dalam erlenmeyer 100 ml.
3. Menambahkan 2 tetes indikator PP. Jika:
  - a. Terjadi perubahan warna pink, lanjutkan ke langkah nomor 4
  - b. Tidak terjadi perubahan warna, lanjutkan ke langkah nomor 5

4. Melakukan titrasi dengan larutan HCl 0,02 N sampai warna merah muda hilang. Kemudian ditetesi dengan indikator MO (*Methyl Orange*) sebanyak 2 tetes dan dititrasi dengan HCl sampai berwarna merah bata.
5. Ditetesi dengan 1 tetes indikator MO (*Methyl Orange*) dan dititrasi dengan HCl sampai terjadi perubahan yang awalnya berwarna kuning menjadi warna orange.
6. Menghitung volume HCl 0,02 N yang digunakan dengan rumus sebagai berikut:

$$CaCO_3 = \frac{V_{HCl} \times N_{HCl}}{V_{air\ sampel}} \times \frac{100}{2} \times 1000$$

#### 4.9 Analisis Logam Berat Kadmium (Cd) pada Air Sungai

Penentuan logam berat Cd di perairan diukur dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) yang digunakan oleh Unit Analisis dan Pengukuran Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya. Langkah-langkah pengukuran logam berat Cd adalah sebagai berikut:

1. Mengambil air sampel dengan pipet volume 25 ml kemudian memasukkan ke *Beaker Glass* 50 ml.
2. Menambahkan 5 ml aqua regia lalu panaskan di atas kompor listrik sampai volumenya berkurang menjadi 15 ml lalu didinginkan. Larutan tersebut berfungsi untuk mendestruksi atau memutus ikatan antara senyawa organik dengan logam yang akan dianalisis, sehingga unsur-unsur tidak saling mengganggu dan diharapkan hanya tinggal logamnya saja.
3. Menyaring sampel yang sudah didinginkan ke labu ukur 25 ml, kemudian menambahkan akuades sampai tanda batas dan dihomogenkan.
4. Melakukan analisis sampel dengan menggunakan mesin AAS pada panjang gelombang tertentu.

5. Melakukan pengukuran logam berat Cd menggunakan AAS yang menyala menggunakan gelombang 228,8 nm.

#### 4.10 Analisis Logam Berat Kadmium (Cd) pada Organ Ikan

Penentuan logam berat Cd pada organ insang, ginjal dan hati ikan diukur dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) yang digunakan oleh Unit Analisis dan Pengukuran Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya. Hasil pengukuran dibandingkan dengan baku mutu SNl. 3787:2009 tentang Batas Maksimum Cemar Logam Berat dalam Pangan.

#### 4.11 Analisis Hematologi Ikan

##### 4.11.1 Proses Pengambilan Darah Ikan

Menurut Lestari *et al.*, (2017), proses pengambilan sampel darah ikan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menyiapkan spuit dengan jarumnya berukuran 1 ml yang telah diaseptiskan dengan menggunakan alkohol 70 % agar steril.
2. Menyiapkan larutan antikoagulan (EDTA) 3,8% ke dalam tabung *ependorf* dan spuit diisi dengan EDTA sebanyak 0.1 ml atau sampai memenuhi dinding *syringe*.
3. Menusukkan spuit yang telah berisi antikoagulan di jantung ikan.
4. Memasukkan jarum dengan kemiringan 45° hingga mencapai jantung ikan.
5. Memastikan tidak ada gelembung-gelembung air yang masuk, kemudian jarum ditarik sambil spuit digoyang-goyangkan sampai darah masuk ke dalam spuit.
6. Memasukkan darah ke tabung *ependorf* yang telah berisi EDTA.

#### 4.11.2 Pengamatan Jumlah Sel Darah Merah (Eritrosit)

Menurut Pal dan Pal (2006), proses pengamatan jumlah sel darah merah (eritrosit) adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Menghisap sampel dengan pipet eritrosit sampai batas 0,5.
3. Mencampurkan sampel darah dengan larutan Hayem sampai batas 101 yang tertera pada pipet.
4. Menghomogenkan isi pipet dengan membuat gerakan angka 8 agar tercampur.
5. Memasukkan cairan ke kamar hitung kemudian melakukan penghitungan di bawah mikroskop. Kamar hitung dengan bidang bergaris diletakkan di bawah objektif dan fokus mikroskop diarahkan pada garis-garis bagi tersebut dan eritrosit akan terlihat.
6. Menghitung semua eritrosit yang terdapat dalam 5 bidang yang tersusun dari 16 bidang kecil. Eritrosit dihitung dari sudut kiri atas, terus ke kanan, kemudian turun ke bawah dan dari kanan ke kiri dan seterusnya.
7. Menghitung jumlah eritrosit dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah eritrosit (sel/mm}^3\text{)} = \frac{n \times 200}{0,02}$$

Keterangan:

- n = Jumlah sel eritrosit yang terdapat pada 80 kotak kecil  
 200 = Pengenceran  
 0,02 = Volume bidang pandang

#### 4.11.3 Pengamatan Jumlah Sel Darah Putih (Leukosit)

Menurut Pal dan Pal (2006), proses pengamatan jumlah sel darah putih (leukosit) adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.

2. Menghisap sampel darah dengan pipet leukosit sampai batas 0,5.
3. Mencampurkan sampel darah dengan larutan Turk sampai batas 11 yang tertera pada pipet.
4. Menghomogenkan isi pipet dengan membuat gerakan angka 8 agar tercampur.
5. Memasukkan cairan ke kamar hitung kemudian melakukan penghitungan di bawah mikroskop. Kamar hitung dengan bidang bergaris diletakkan di bawah objektif dan fokus mikroskop diarahkan pada garis-garis bagi tersebut dan leukosit akan terlihat.
6. Semua leukosit yang terdapat dalam keempat bidang besar dihitung pada sudut-sudut seluruh permukaan yang terbagi.
7. Leukosit dihitung dari sudut kiri atas, terus ke kanan, kemudian turun ke bawah dan dari kanan ke kiri dan seterusnya.
8. Menghitung jumlah leukosit dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah leukosit (sel/mm}^3\text{)} = \frac{n \times 20}{0,4}$$

Keterangan:

- $n$  = Jumlah sel leukosit yang terdapat pada 4 kotak besar yang terletak pada sudut kamar hitung.  
 $20$  = Pengenceran  
 $0,4$  = Volume bidang pandang

#### 4.11.4 Perhitungan Hemoglobin (Hb)

Perhitungan kadar hemoglobin dilakukan dengan mengacu pada metode Sahli (Putra, 2015). Prosedur perhitungan hemoglobin adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Menambahkan HCL 0,1 N sampai skala 2 ke dalam tabung sahli.
3. Menghisap sampel darah dengan menggunakan pipet sahli sampai skala 0,02 ml.

4. Memindahkan sampel darah yang ada di dalam pipet ke tabung Hb-meter yang telah diisi HCL 0,1 N hingga skala 10 (merah).
5. Menghomogenkan sampel darah sampai berwarna coklat kehitaman dan tunggu selama 3 menit.
6. Menambahkan akuades hingga warnanya sama dengan indikator warna larutan standar yang ada di dalam Hb-meter.
7. Membaca skala yang dilakukan dengan melihat tinggi permukaan larutan yang dikocok dengan skala lajur g % yang menunjukkan banyaknya Hb dalam gram setiap ml darah dan dinyatakan dalam persentase (%Hb).

#### 4.11.5 Pengamatan Mikronuklei Sel Darah Ikan

Menurut Astari *et al.*, (2015), proses pengamatan mikronuklei sel darah ikan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Mengoleskan sampel darah pada slide objek glass yang bersih.
3. Melakukan fiksasi sampel dengan metanol PA dan tunggu selama 20 menit atau sampai kering.
4. Mewarnai dengan pewarna giemsa 10% dan tunggu selama 25 menit.
5. Membilas dengan akuades dan tunggu hingga kering.
6. Melakukan pengamatan dibawah mikroskop dan dilihat 5 lapang pandang dibuat dari masing-masing ikan 1000 eritrosit.
7. Melakukan skoring dari setiap lapang pandang dan diamati dibawah perbesaran 400x.
8. Mengamati setiap sel dan dihitung jumlah mikronuklei dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Frekuensi Mikronuklei} = \frac{\sum \text{mikronuklei} \times (1000)}{\text{Total sel yang dihitung}}$$



## 4.12 Analisis Histologi Ikan

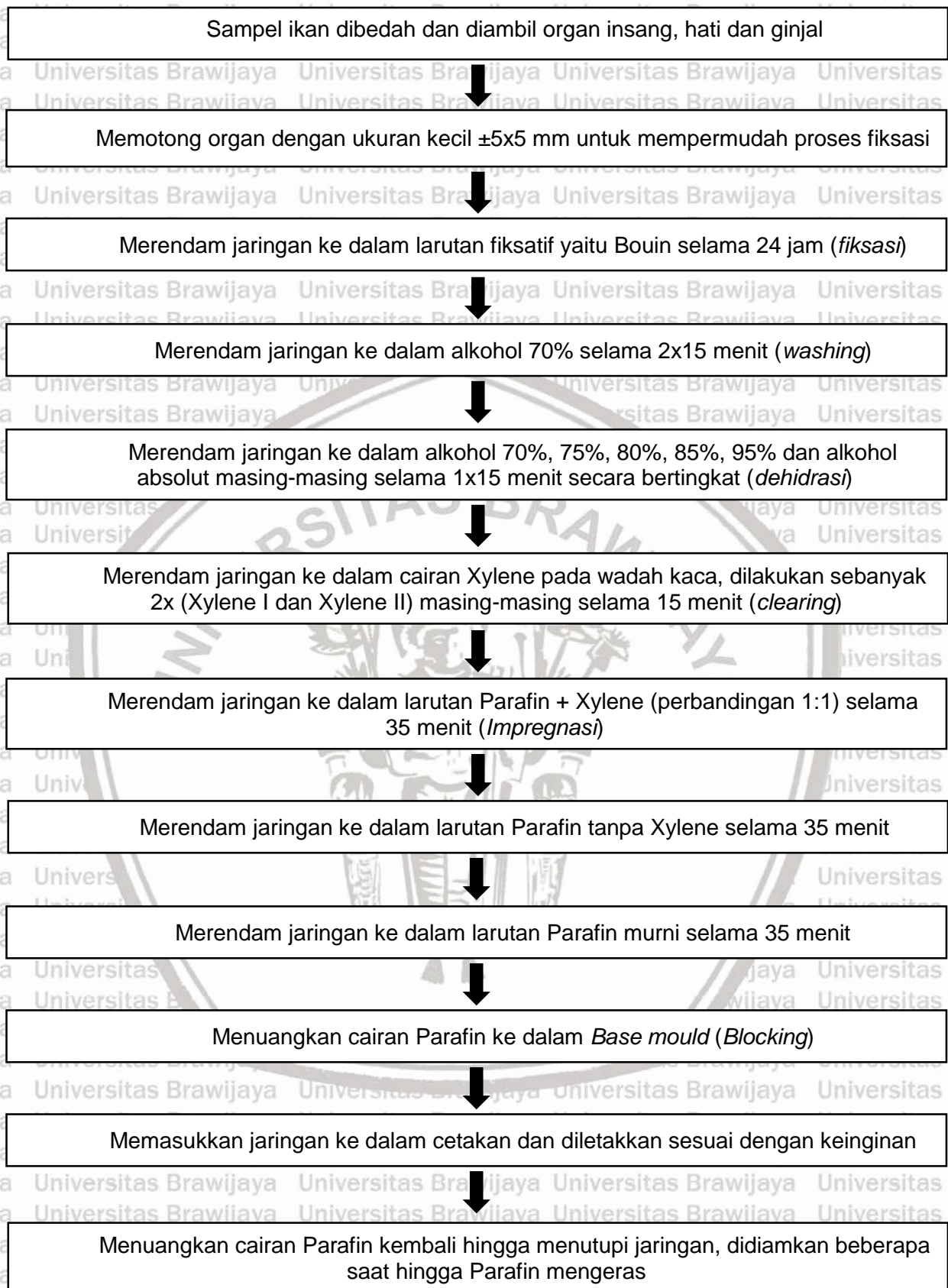
### 4.12.1 Proses Pengambilan Sampel Organ Ikan

Pada penelitian ini dilakukan proses pengambilan sampel organ ikan yang meliputi organ insang, hati dan ginjal. Tahap-tahap yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mensterilkan kedua tangan dengan menggunakan alkohol.
2. Menggunakan sarung tangan agar tidak terinfeksi dengan bakteri
3. Sampel ikan diambil dengan menggunakan serokan atau kain, kemudian diletakkan diatas nampan
4. Sebelum dibedah, sampel ikan diukur berat dan panjangnya dengan menggunakan timbangan digital dan penggaris
5. Bagian kepala sampel ikan dipegang dan ditusuk dengan menggunakan jarum dari *section set* pada bagian otaknya
6. Sampel ikan dibedah dengan cara menggunting mulai dari anus hingga belakang tutup insang (*operculum*). Setelah sampai ke *operculum* potong lagi hingga ke sirip dada (*pectoral*)
7. Membuka hasil pembedahan kemudian ambil organ insang, hati dan ginjal. Organ hati terletak di belakang jantung, sedangkan organ ginjal terletak diantara *Columna vertebralis* dan gelembung renang. Sedangkan, organ insang diambil dengan membuka tutup insang (*operculum*)
8. Organ insang, hati dan ginjal yang sudah diambil selanjutnya dimasukkan ke dalam pot sampel yang sudah diisi dengan formalin 10% sebanyak 20 ml

### 4.12.2 Proses Pembuatan Preparat Histologi

Menurut Martins *et al.* (2018), prosedur pembuatan preparat histologi adalah sebagai berikut:



Selanjutnya proses pemotongan jaringan (*Sectioning*) dengan meletakkan pisau pada mikrotom

Merekatkan Blok Parafin pada holder dengan menggunakan *spatula/scalpel blade* yang sudah dipanaskan

Meletakkan holder dan preparat pada mikrotom

Memotong dengan ketebalan irisan 3-5  $\mu\text{m}$

Mengatur jarak preparat yang dipegang oleh holder ke arah pisau sedekat mungkin

Menggerakkan rotor (putaran) pada mikrotom secara ritmis dan membuang pita-pita paraffin awal yang tanpa jaringan

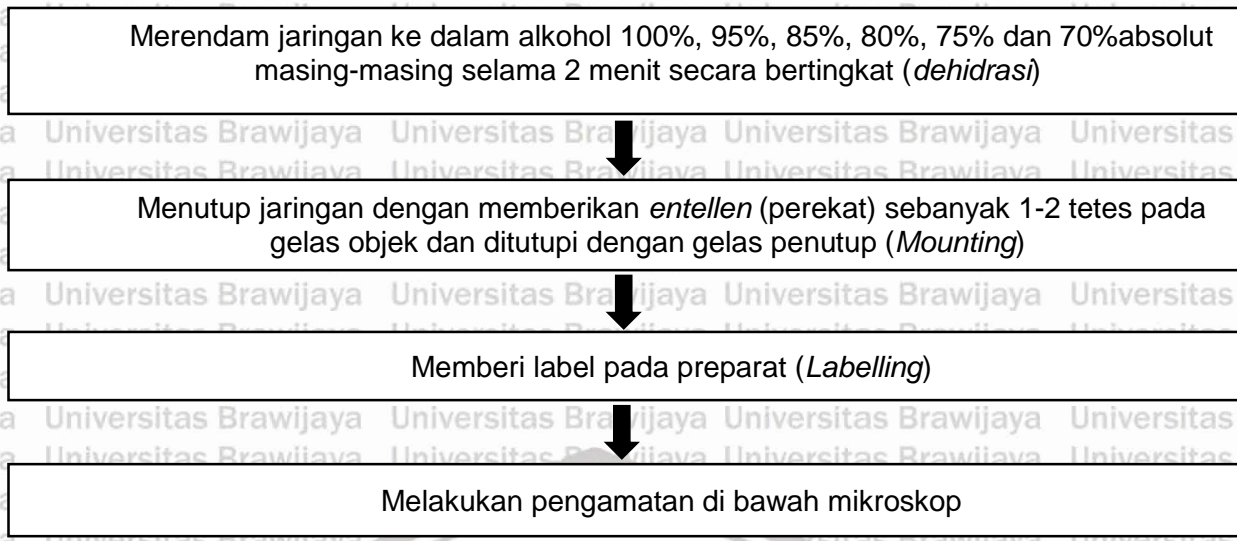
Memotong blok preparat dengan hati-hati kemudian dipindahkan dengan sengkeli ke atas air di dalam *waterbath* yang diatur pada suhu 60 °C (*Floating*)

Menempelkan irisan jaringan pada gelas objek

Merendam jaringan ke dalam larutan Xylene I dan II secara bergantian masing-masing 15 menit (*Pewarnaan*)

Merendam jaringan ke dalam larutan *Haematoxylin* selama 5-10 menit

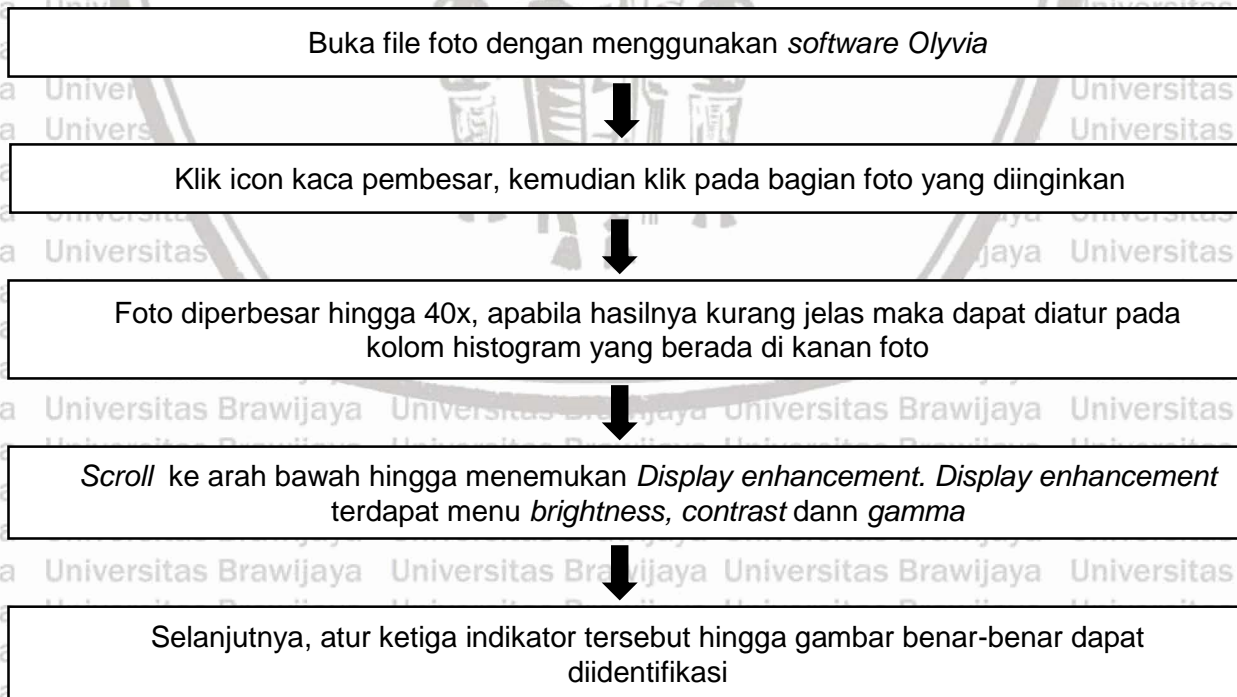
Merendam jaringan ke dalam larutan *Eosin* selama 5-10 menit, kemudian cuci dengan akuades



Gambar 19. Proses pembuatan preparat histologi

#### 4.11.3 Pengolahan Data Kerusakan Sel dengan Software Olyvia

Hasil foto dengan bentuk format VSI yang diperoleh dari mikroskop selanjutnya diolah menggunakan software yaitu Olyvia. Berikut adalah skema dalam melakukan pengolahan data kerusakan sel dengan menggunakan software Olyvia:



Gambar 20. Pengolahan data kerusakan sel dengan software Olyvia



#### 4.11.4 Skoring Kerusakan Histologi Ikan

Skoring kerusakan histologi dilakukan dengan cara zig-zag. Terdapat sebanyak lima bidang lapang pandang, dimana setiap bidang lapang pandang diamati tingkat kerusakannya. Kerusakan yang terjadi seperti degenerasi, nekrosis dan hiperplasia. Setelah mengetahui jumlah kerusakan sel, selanjutnya memasukkan hasilnya ke dalam rumus berikut ini:

$$\text{Persentase kerusakan sel} = \frac{\text{Jumlah sel yang rusak} \times 100\%}{\text{Jumlah yang dianalisis}}$$

Selanjutnya, hasil dari perhitungan rumus tersebut disamakan dengan kategori kerusakan sel (Tabel 5).

**Tabel 3.** Kategori kerusakan sel histologi

Persentase Kerusakan	Kategori Kerusakan
$P < 25\%$	Normal
$25 \leq P < 50\%$	Rusak Ringan
$50 \leq P < 75\%$	Rusak Sedang
$P > 75\%$	Rusak Parah

Sumber: Wolf *et al.*, (2015)

#### 4.12 Analisis Data

Analisis data yang digunakan yaitu analisis regresi linier sederhana dan korelasi. Uji statistik tersebut digunakan untuk melihat hubungan antara kualitas air dan pencemaran logam berat dengan profil hematologi dan struktur histologi ikan. Menurut Marwan *et al.* (2015), hasil dari analisis korelasi adalah koefisien yang menunjukkan kekuatan dan kelemahan dari suatu hubungan antar variabel. Koefisien korelasi (r) adalah indeks atau bilangan yang digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antar variabel. Berikut adalah rumus koefisien korelasi:



$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

Keterangan:

X : Variabel independen (bebas)

Y : Variabel dependen (terikat)

n : Banyaknya sampel

Menurut Sugiyono (2007), untuk mengetahui korelasi antara dua variabel

maka diperlukan pengujian koefisien korelasi (r) dengan kriteria sebagai berikut:

r = 0 maka tidak memiliki korelasi

0 < r ≤ 0,19 maka korelasi sangat rendah (lemah sekali)

0,4 < r ≤ 0,69 maka memiliki korelasi cukup

0,7 < r ≤ 0,89 maka memiliki korelasi tinggi

0,9 < r ≤ 1 maka memiliki korelasi sangat tinggi dan kuat

r = 1 maka memiliki korelasi sempurna

Menurut Sungkawa (2013), analisis regresi adalah hubungan yang didapat dan dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan

fungsional antar variabel-variabel. Hasil dari analisis regresi adalah berupa koefisien regresi untuk masing-masing variabel independen. Secara umum

persamaan regresi adalah sebagai berikut:

$$\hat{Y}_t = a + bX$$

Keterangan:

Y : Variabel dependen (terikat)

X : Variabel independen (bebas)

a : Konstanta

b : Koefisien regresi

#### 4.12.1 Standart Baku Mutu Air

Data kualitas air sungai yang sudah diperoleh akan diolah dan dibandingkan dengan PP RI Nomor 22 tahun 2021 kelas III tentang penetapan baku mutu air sungai. Air dikatakan tercemar apabila melebihi baku mutu dan air yang belum



melebihi baku mutu digolongkan tidak tercemar. Berikut adalah tabel nilai baku mutu air:

**Tabel 4.** Nilai baku mutu air

Parameter	Satuan	Baku mutu
<b>Fisika</b>		
Suhu	°C	Deviasi 3
Kekeruhan	NTU	-
TSS	Mg/l	100
<b>Kimia</b>		
pH		6-9
DO	Mg/l	3
BOD	Mg/l	6
COD	Mg/l	40
Nitrat	Mg/l	20
Total fosfat	Mg/l	1
<b>Biologi</b>		
Total coliform	Jumlah/100 ml	10000

Sumber: PP Nomor 22 Tahun 2021

#### 4.12.2 Metode STORET

Berikut adalah langkah-langkah dalam penentuan status mutu air dengan metode STORET:

1. Melakukan pengumpulan data kualitas dan debit air secara periodik sehingga membentuk data dari waktu ke waktu (*time series data*).
2. Bandingkan data hasil pengukuran dari setiap parameter air dengan nilai baku mutu yang sesuai dengan kelas air.
3. Jika hasil pengukuran memenuhi baku mutu air (hasil pengukuran  $\leq$  baku mutu) maka diberi skor 0.
4. Jika hasil pengukuran tidak memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran  $>$  baku mutu), maka diberi skor sesuai dengan Tabel 7.
5. Jumlah negatif dari seluruh parameter dihitung dan ditentukan status mutunya dari jumlah skor yang didapat menggunakan sistem nilai.



**Tabel 5.** Penentuan sistem nilai untuk menentukan status mutu air

Jumlah parameter	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
< 10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata-rata	-3	-6	-9
≥ 10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata-rata	-6	-12	-18

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003

Cara menentukan status mutu air digunakan sistem nilai dari US-EPA

(*Environmental Protection Agency*) dengan mengklasifikasi mutu air dalam empat

kelas, yaitu:

**Tabel 6.** Penentuan standar mutu air berdasarkan total skor

No	Kategori	Skor	Status
1.	Kelas A (Baik sekali)	0	Memenuhi baku mutu
2.	Kelas B (Baik)	-1 s/d -10	Tercemar ringan
3.	Kelas C (Sedang)	-11 s/d -30	Tercemar sedang
4.	Kelas D (Buruk)	≥ -31	Tercemar berat





## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Keadaan Umum Lokasi Penelitian

Kabupaten Pasuruan merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Timur yang memiliki luas wilayah yaitu sebesar 1.474,015 km<sup>2</sup> dan terletak pada titik koordinat 112°33'55" – 113°05'37" Bujur Timur dan 7°32'34" – 7°57'20" Lintang Selatan. Kabupaten Pasuruan memiliki batas-batas wilayah sebagai berikut:

- Utara : Kota Pasuruan, Kabupaten Sidoarjo dan Selat Madura
- Timur : Kabupaten Probolinggo
- Selatan : Kabupaten Malang
- Barat : Kabupaten Mojokerto

Kabupaten Pasuruan juga memiliki wilayah perairan, laut dan kawasan pantai yang membentang sepanjang ±48 km mulai dari Kecamatan Nguling hingga Kecamatan Bangil dengan wilayah eksploitasi laut mencapai 112,5 mil laut persegi dan potensi laut lestari atau *Maximum Sustainable Yield* (MSY) sebesar ±27.000 ton/tahun (Laporan Status Lingkungan Hidup Kabupaten Pasuruan Tahun 2007).

Menurut data Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Pasuruan (2015), Sungai Rejoso merupakan salah satu dari enam sungai besar di Kabupaten Pasuruan yang mengalir dan bermuara di Selat Madura. Sungai Rejoso berada di Kecamatan Rejoso, Kabupaten Pasuruan dan memiliki karakteristik yaitu panjang sungai 45,6 km, lebar permukaan 16,03 m, lebar dasar 9 m, kedalaman 1,68 m dan debit air 0,74-35,52 m<sup>3</sup>/detik. Banyak penduduk sekitar yang memanfaatkan sungai rejoso untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Aktivitas penduduk seperti pertanian, perikanan, kegiatan rumah tangga dan industri dapat memberikan pengaruh yang buruk terhadap kondisi kualitas air sungai. Menurut Muryani (2010), Sungai Rejoso sendiri berasal dari lereng utara pegunungan Tengger yang

kemudian mengalir menuju ke arah utara dan bermuara di Pantai Utara Kabupaten Pasuruan yaitu tepatnya di Kecamatan Rejoso. Sungai Rejoso merupakan batas administrasi dari dua desa yaitu Desa Patuguran dan Desa Jarangan. Sungai Rejoso juga dialiri oleh dua sungai kecil, yaitu Sungai Sodo dan Sungai Petung. Berikut adalah gambar tiga stasiun pengambilan sampel.

### 5.1.1 Stasiun 1

Stasiun 1 terletak di Kecamatan Rejoso, Pasuruan. Pemilihan stasiun 1 ini berada di kawasan dekat dengan pembuangan limbah industri PT. Cheil Jedang Indonesia yaitu pabrik yang memproduksi bahan makanan, farmasi dan bioteknologi. Selain itu, stasiun 1 juga berada di kawasan yang padat dengan pemukiman penduduk, sehingga banyak buangan limbah industri dan limbah domestik (rumah tangga) yang masuk ke dalam badan sungai di stasiun 1. Penentuan titik koordinat pada stasiun 1 menggunakan GPS data. Berikut titik koordinat pada stasiun 1:

- Titik 1: Lintang  $-7^{\circ} 41' 4.051''\text{S}$  dan Bujur  $112^{\circ} 57' 38.728''\text{E}$
- Titik 2: Lintang  $-7^{\circ} 41' 4.002''\text{S}$  dan Bujur  $112^{\circ} 57' 38.687''\text{E}$
- Titik 3: Lintang  $-7^{\circ} 41' 3.642''\text{S}$  dan Bujur  $112^{\circ} 57' 38.858''\text{E}$



**Gambar 21.** Lokasi pengamatan stasiun 1 (Dokumentasi Pribadi, 2021)

### 5.1.2 Stasiun 2

Stasiun 2 terletak di Kecamatan Rejoso, Pasuruan. Pemilihan stasiun 2 ini berada di kawasan dekat dengan pertambakan, perkebunan dan pemukiman warga sehingga banyak buangan limbah cair dari kegiatan pertambakan, limbah dari kegiatan agrikultur dan limbah domestik (rumah tangga). Penentuan titik koordinat pada stasiun 2 menggunakan GPS data. Berikut titik koordinat pada stasiun 2:

- Titik 1: Lintang  $-7^{\circ} 40' 37.870''\text{S}$  dan Bujur  $112^{\circ} 57' 38.885''\text{E}$

- Titik 2: Lintang  $-7^{\circ} 40' 20.855''\text{S}$  dan Bujur  $112^{\circ} 57' 36.378''\text{E}$

- Titik 3: Lintang  $-7^{\circ} 40' 21.068''\text{S}$  dan Bujur  $112^{\circ} 57' 36.433''\text{E}$



**Gambar 22.** Lokasi pengamatan stasiun 2 (Dokumentasi Pribadi, 2021)

### 5.1.3 Stasiun 3

Stasiun 2 terletak di Kecamatan Rejoso, Pasuruan. Pemilihan stasiun 3 ini berada di kawasan dekat dengan persawahan dan dekat muara sehingga buangan limbah didominasi dengan limbah agrikultur (pupuk dan bahan kimia pertanian).

Penentuan titik koordinat pada stasiun 3 menggunakan GPS data. Berikut titik koordinat pada stasiun 3:

- Titik 1: Lintang  $-7^{\circ} 39' 40.898''\text{S}$  dan Bujur  $112^{\circ} 57' 21.524''\text{E}$
- Titik 2: Lintang  $-7^{\circ} 39' 39.932''\text{S}$  dan Bujur  $112^{\circ} 57' 21.288''\text{E}$
- Titik 3: Lintang  $-7^{\circ} 39' 38.947''\text{S}$  dan Bujur  $112^{\circ} 57' 21.107''\text{E}$



**Gambar 23.** Lokasi pengamatan stasiun 3 (Dokumentasi Pribadi, 2021)

## 5.2 Analisa Morfologi Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang ada di Hilir Sungai Rejoso ditangkap menggunakan alat tangkap pancing ulur dengan ukuran mata pancing sekitar 7-11 lbs. Ikan yang didapatkan memiliki ukuran panjang berkisar antara 17-22,3 cm dan berat berkisar antara 117,8-230,45 gram. Ciri-ciri morfologi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang didapatkan yaitu bentuk tubuhnya pipih, tubuhnya didominasi dengan warna kehitaman dan tidak ditemukan indikasi bakteri atau jamur pada tubuhnya (Gambar 24). Menurut Kammerer *et al.* (2010), secara morfologi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) memiliki bentuk tubuh panjang dan pipih ke samping (*compressed*), letak mulut subterminal dan sedikit meruncing. Sisik pada ikan nila termasuk ke dalam tipe *Ctenoid* atau sisik sisir, memiliki jari-jari keras dan sirip bagian perut torasik. Ikan nila memiliki warna tubuh hitam agak keputihan dan pada bagian tutup insang (*operculum*) berwarna putih.



**Gambar 24.** Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang tertangkap di Hilir Sungai Rejoso (Dokumentasi pribadi, 2021)

### 5.3 Analisis Kualitas Air

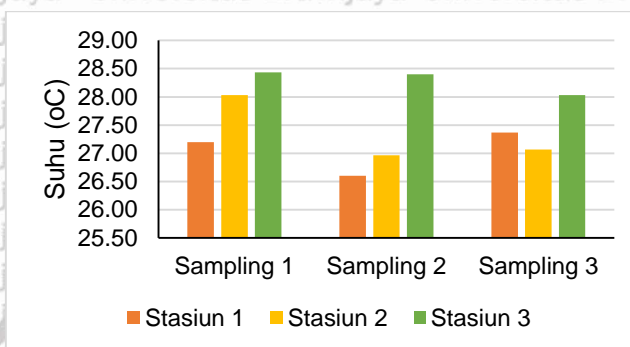
Parameter kualitas air yang diamati yaitu parameter fisika meliputi suhu, kecerahan, kecepatan arus, dan TSS (*Total Suspended Solid*) dan parameter kimia meliputi pH, DO (*Dissolved Oxygen*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TOM (*Total Organic Matter*), nitrat, ortofosfat dan Alkalinitas, serta pengamatan logam berat Kadmium (Cd). Pengukuran parameter kualitas air dilakukan pada bulan April-Mei 2021 (musim kemarau) dan September 2021 (musim hujan) sebanyak tiga kali sampling dengan selang waktu satu bulan sekali. Berikut adalah data hasil pengukuran kualitas air di Hilir Sungai Rejoso (Lampiran 3).

### 5.3.1 Parameter Fisik

#### 5.3.1.1 Suhu

Hasil pengukuran suhu dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada

Gambar 25.



Gambar 25. Suhu

Berdasarkan hasil pengukuran suhu selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran suhu di Hilir Sungai Rejoso yaitu 26.6 – 28.4 °C. Nilai suhu tertinggi terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 3, sedangkan nilai suhu terendah terjadi pada saat sampling 2 di stasiun 1 (Gambar 25). Nilai suhu di Hilir Sungai Rejoso masih normal dan belum melebihi Baku Mutu Air menurut PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu deviasi 3 dari keadaan alamiah. Suhu yang didapatkan tergolong optimal dan aman untuk kehidupan ikan serta organisme air lainnya.

Menurut Hamuna *et al.* (2018), kisaran suhu optimal perairan sungai berkisar antara 28-32°C. Menurut Pandit dan Nakamura, (2010), suhu optimal untuk kehidupan ikan nila berkisar antara 26-30 °C. Ikan nila tidak dapat bertahan hidup pada suhu di bawah 16 °C dan pertumbuhannya akan memburuk pada suhu di bawah 20 °C, namun ikan nila dapat mentoleransi suhu tinggi hingga 40-42 °C (Mjoun *et al.*, 2010).

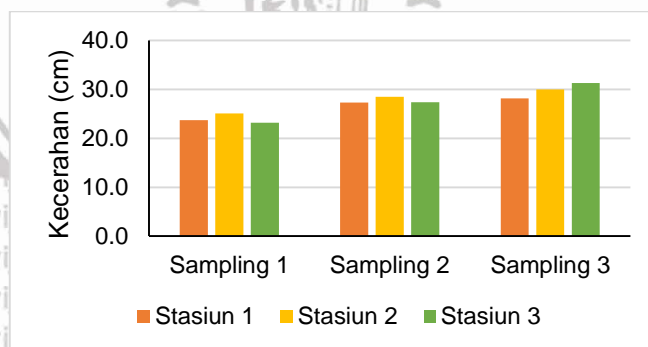
Suhu yang bervariasi dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan suhu udara. Perbedaan nilai suhu bisa disebabkan karena perbedaan waktu dan kondisi lokasi penelitian. Intensitas cahaya matahari di wilayah hilir semakin banyak,

selain itu pertukaran panas antara air dan udara juga semakin besar sehingga terjadi peningkatan suhu di wilayah hilir (Asrini *et al.*, 2017). Menurut Djoharama *et al.* (2018), logam berat akan mudah terlarut di dalam air ketika terjadi peningkatan suhu, sedangkan logam berat akan mudah mengendap di dasar perairan ketika terjadi penurunan suhu.

Suhu perairan yang mengalami penurunan mendadak dapat menyebabkan terjadinya degradasi eritrosit sehingga mengganggu proses respirasi ikan, sedangkan pada saat suhu meningkat dapat menyebabkan ikan lebih aktif bergerak, tidak berhenti makan dan metabolisme lebih cepat meningkat sehingga kotoran lebih banyak. Hal tersebut dapat menyebabkan penurunan kondisi kualitas air dan ikan akan mengalami stres (Bangsa *et al.*, 2015). Ikan yang mengalami stress akibat peningkatan suhu di perairan akan berdampak pada kesehatan ikan berupa gangguan fungsi sel-sel darah salah satunya adalah eritrosit (Joseph dan Sujatha, 2010).

### 5.3.1.2 Kecerahan

Hasil pengukuran kecerahan dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 26.



**Gambar 26.** Kecerahan

Berdasarkan hasil pengukuran kecerahan selama penelitian bulan April-September 2021, didapatkan nilai kisaran kecerahan di Hilir Sungai Rejoso yaitu

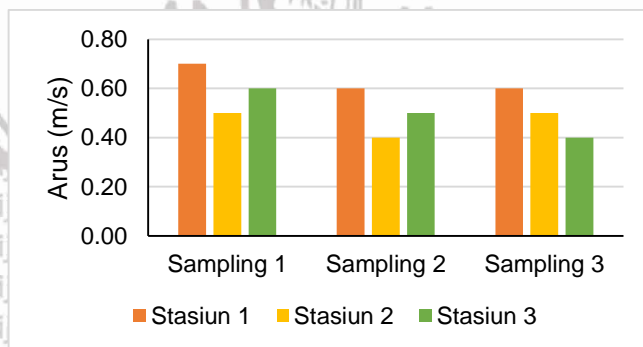
23.2 – 31.3 cm. Nilai kecerahan tertinggi terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 3, sedangkan nilai kecerahan terendah terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 3 (Gambar 26). Nilai kecerahan di Hilir Sungai Rejoso tergolong rendah dan jauh di bawah nilai Baku Mutu Air menurut PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu 200 cm.

Menurut Suparjo (2009), nilai kecerahan air kurang dari 100 cm tergolong tingkat kecerahan yang rendah. Nilai kecerahan yang baik untuk kehidupan ikan adalah lebih dari 0.45 m.

Nilai kecerahan yang rendah pada stasiun 3 dikarenakan tingginya bahan organik dan partikel-partikel tersuspensi pada stasiun tersebut yang berasal dari limbah agrikultur. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mainassy (2017), rendahnya nilai kecerahan disebabkan oleh kondisi perairan sungai yang keruh akibat dari aktivitas manusia yang menghasilkan limbah sehingga menyebabkan tingginya partikel terlarut dan partikel tersuspensi, serta kurangnya pengikatan substrat karena tidak adanya mangrove di sekitar wilayah sungai, sehingga cahaya tidak menembus hingga ke dasar perairan.

### 5.3.1.3 Kecepatan Arus

Hasil pengukuran kecepatan arus dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 27.



**Gambar 27.** Kecepatan arus

Berdasarkan hasil pengukuran kecepatan arus selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran kecepatan arus di Hilir Sungai Rejoso



yaitu 0.4 – 0.7 m/s. Nilai kecepatan arus tertinggi terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 1, sedangkan nilai kecepatan arus terendah terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 3 (Gambar 27). Kecepatan arus di Hilir Sungai Rejoso tergolong sedang.

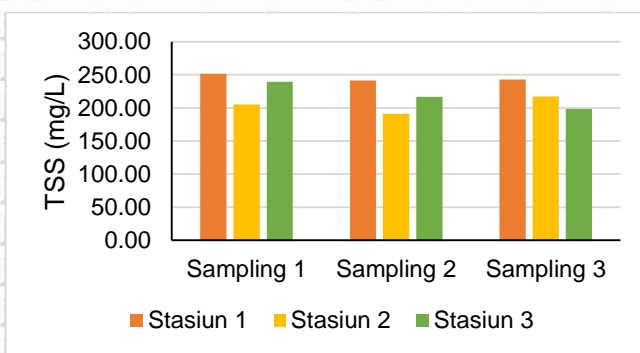
Hal tersebut diperjelas dengan pernyataan dari (Apsari dan Sutedjo, 2012), bahwa semakin ke arah hilir kecepatan arus sungai akan lebih lambat. Kecepatan arus sungai ditentukan oleh kedalaman, kemiringan, jenis substrat, curah hujan dan debit air. Sungai dengan kecepatan arus antara 10-25 cm/s termasuk ke dalam kecepatan arus lambat, kecepatan arus antara 25-100 cm/s termasuk ke dalam kecepatan arus sedang dan sungai dengan kecepatan arus >100 cm/s termasuk ke dalam kecepatan arus yang cepat.

Kecepatan arus pada sungai dapat berubah-ubah tergantung pada lokasi dan waktu pengukuran. Perbedaan kecepatan arus sungai pada setiap stasiun dapat dipengaruhi oleh tipe dasar dan lebar sungai. Sungai yang memiliki bentuk dasar yang curam kecepatan arusnya lebih tinggi dibandingkan dengan sungai yang landai (Djumanto *et al.*, 2013). Pola arus yang terjadi pada perairan sungai juga memiliki peran dalam persebaran limbah pencemaran. Kecepatan arus yang lambat dapat menyebabkan pencemaran yang tersebar juga tidak begitu luas (Indrayana *et al.*, 2014).

Menurut Mantaya *et al.* (2016), kecepatan arus merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi penyebaran gas-gas terlarut, persebaran organisme dan bahan organik di perairan. Kecepatan arus dapat mempengaruhi tingkat kecerahan dan TSS di suatu perairan. Tingginya kecepatan arus sungai dapat menyebabkan substrat sungai mudah teraduk dan terbawa oleh arus, akibatnya yaitu tingkat kecerahan menjadi rendah.

#### 5.3.1.4 Total Suspended Solid (TSS)

Hasil pengukuran TSS dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 28.



**Gambar 28.** Total Suspended Solid (TSS)

Berdasarkan hasil pengukuran TSS selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran TSS di Hilir Sungai Rejoso yaitu 191.3 – 251.3 mg/L.

Nilai TSS tertinggi terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 1, sedangkan nilai TSS terendah terjadi pada saat sampling 2 di stasiun 2 (Gambar 28). Nilai TSS di Hilir Sungai Rejoso telah melebihi nilai Baku Mutu Air menurut PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu 100 mg/L dan mengindikasikan bahwa perairan tersebut telah tercemar.

Tingginya nilai TSS pada stasiun 1 dipengaruhi oleh tingkat sedimen yang tersuspensi serta karena buangan limbah industri dan limbah domestik yang masuk ke dalam badan sungai. Menurut Zubaidah *et al.* (2019), berpendapat bahwa tingginya nilai TSS pada perairan sungai disebabkan oleh masuknya berbagai jenis bahan pencemar dan polusi tambahan lainnya. Hal tersebut mengakibatkan meningkatnya proses pengadukan di dalam sungai. Nilai TSS yang tinggi dapat mengganggu respirasi dan penglihatan biota akuatik, serta dapat menurunkan kondisi kualitas air sungai.

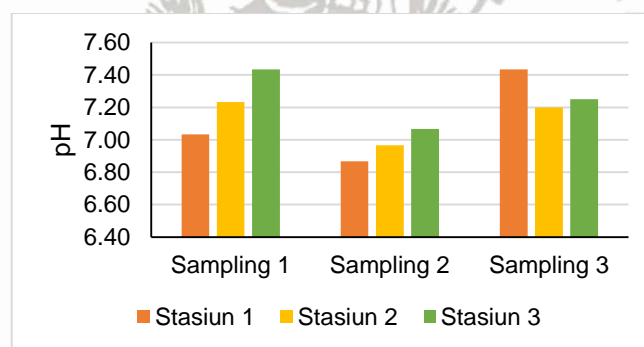
Menurut Akhrianti *et al.* (2014), perairan yang memiliki kecepatan arus yang tinggi dapat menyebabkan nilai TSS meningkat, karena kecepatan arus dapat

menyebabkan pengadukan sedimen di dasar perairan sehingga partikel tersebut akan tersuspensi di badan perairan dan arus akan membawa partikel tersebut yang mengakibatkan padatan tersuspensi menjadi tinggi. Nilai TSS yang tinggi dapat mengganggu respirasi dan penglihatan biota akuatik, serta dapat menurunkan kondisi kualitas air sungai. Tingginya nilai TSS di perairan dapat mempengaruhi fungsi insang. Banyaknya jumlah partikel tersuspensi yang melewati lamela insang menyebabkan ikan lebih sering membuka tutup insang untuk membuang partikel-partikel tersebut. Akibatnya insang akan memproduksi lendir lebih banyak untuk melindungi permukaan insang (Nasrabadi *et al.*, 2016).

### 5.3.2 Parameter Kimia

#### 5.3.2.1 Derajat Keasaman (pH)

Hasil pengukuran pH dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29. Derajat keasaman (pH)

Berdasarkan hasil pengukuran pH selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran pH di Hilir Sungai Rejoso yaitu 6.8 – 7.4. Nilai pH tertinggi terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 3, sedangkan nilai pH terendah terjadi pada saat sampling 2 di stasiun 1 (Gambar 29). Nilai pH di Hilir Sungai Rejoso masih tergolong baik dan belum melebihi Baku Mutu Air menurut PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu 6-9. Menurut Sugiyarto *et al.* (2017), nilai pH air sungai

berkisar antara 4-9, namun nilai pH yang ideal bagi perairan berkisar antara 7-8,5.

Nilai pH < 4,8 dan > 9,8 dapat dikatakan bahwa perairan tersebut sudah dianggap tercemar. Nilai pH yang diperoleh juga tergolong aman untuk kehidupan ikan nila.

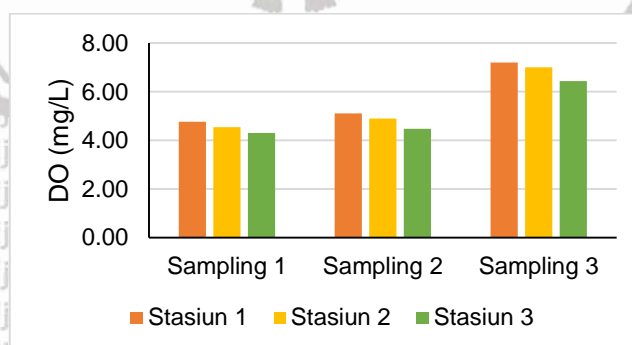
Menurut Ibrahim dan Ramzy, (2013), ikan nila dapat bertahan hidup pada pH berkisar antara 5-10, namun nilai pH optimal untuk kehidupan ikan nila berkisar antara 6-9.

Perubahan nilai pH di perairan dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti curah hujan, alkalinitas, kandungan mineral, dan beberapa jenis bahan organik yang terdapat di perairan. Selain itu, perubahan nilai pH di perairan sungai diikuti dengan perubahan kadar ammonia dan logam berat (Masriadi *et al.*, 2019).

Menurut Qiu *et al.* (2017), nilai pH di suatu perairan ditentukan oleh konsentrasi CO<sub>2</sub> dari proses dekomposisi bahan organik. Meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> dapat mengganggu sistem pernapasan ikan dan menghambat pengikatan oksigen oleh hemoglobin sehingga ikan bisa mengalami stress. Nilai pH yang rendah dapat meningkatkan konsentrasi ammonia sehingga terjadi penurunan jumlah sel darah.

### 5.3.2.2 Dissolved Oxygen (DO)

Hasil pengukuran DO dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 30. Dissolved oxygen (DO)

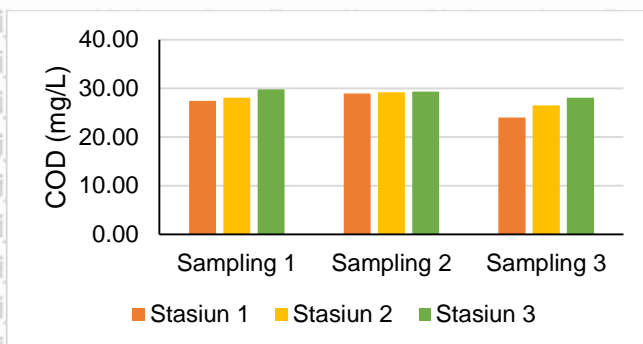
Berdasarkan hasil pengukuran DO selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran DO di Hilir Sungai Rejoso yaitu 4.3 – 7.2 mg/L. Nilai DO tertinggi terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1, sedangkan nilai DO terendah terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 3 (Gambar 30). Nilai DO di Hilir Sungai Rejoso masih normal dan menurut Baku Mutu Air PP 22 Tahun 2021 Kelas III nilai DO perairan sungai yaitu lebih dari 3 mg/L. Nilai DO yang diperoleh juga tergolong aman untuk kehidupan ikan nila. Menurut Mahyudin *et al.* (2015), suatu perairan yang memiliki konsentrasi DO >5 mg/L tergolong perairan yang baik dan tingkat pencemarannya rendah. Menurut Ibrahim dan Ramzy, (2013), nilai DO >5 mg/L dapat mendukung pertumbuhan ikan nila.

Rendahnya nilai DO pada stasiun 3 dikarenakan terjadinya peningkatan suhu di stasiun tersebut. Perbedaan konsentrasi DO di suatu perairan ditentukan oleh suhu, tekanan atmosfer dan juga turbulensi air. Semakin banyak organisme di perairan, maka berkurang konsentrasi DO di suatu perairan, karena semakin banyak DO yang digunakan. Rendahnya konsentrasi DO di perairan sungai disebabkan oleh banyaknya jumlah limbah pencemaran yang masuk ke badan sungai (Zubaidah *et al.*, (2019).

Rendahnya konsentrasi DO atau hipoksia dapat meningkatkan jumlah eritrosit pada darah ikan. Jumlah eritrosit yang cenderung tinggi menjadi pendukung dalam penyerapan oksigen lebih banyak untuk memenuhi kebutuhan oksigen jaringan dalam rangka mempertahankan hidupnya. Tingginya suhu lingkungan yang diiringi dengan peningkatan jumlah eritrosit kemungkinan disebabkan dengan tingginya evaporasi oksigen di dalam air, sehingga meningkatnya eritrosit mengimbangi kekurangan oksigen (Lavabeta *et al.*, 2015).

### 5.3.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Hasil pengukuran COD dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 31.



**Gambar 31.** Chemical oxygen demand (COD)

Berdasarkan hasil pengukuran COD selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran COD di Hilir Sungai Rejoso yaitu 24.0 – 29.8 mg/L.

Nilai COD tertinggi terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 3, sedangkan nilai COD terendah terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1 (Gambar 31). Nilai COD di Hilir Sungai Rejoso masih tergolong optimal dan belum melebihi Baku Mutu Air menurut PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu 40 mg/L.

Tingginya nilai COD pada stasiun 3 disebabkan tingginya jumlah limbah organik yang masuk ke dalam badan sungai akibat kegiatan agrikultur. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Prabowo dan Subantoro, (2012), bahwa nilai COD di perairan sungai dipengaruhi oleh limbah organik maupun anorganik yang masuk ke dalam perairan hasil dari aktivitas manusia yang tidak diolah dengan baik.

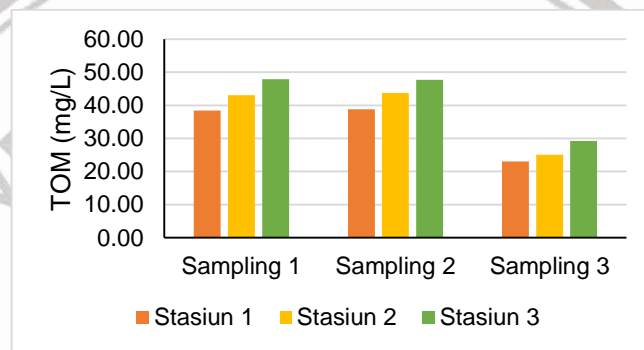
Nilai COD di perairan sungai dapat dijadikan sebagai salah satu penentu pencemaran perairan. Perbedaan nilai COD pada tiap stasiun tergantung pada jenis dan jumlah limbah pencemar yang masuk ke badan sungai. Menurut Zubaidah *et al.* (2019), proses dekomposisi biologi tidak mampu mengurangi



tingginya volume bahan pencemar yang masuk ke dalam perairan, sehingga proses dekomposisi kimia ikut membantu dalam mengurangi bahan pencemar tersebut. Pernyataan tersebut didukung dengan pernyataan Yudo, (2010), bahwa nilai COD yang tinggi mengindikasikan bahwa semakin besar tingkat pencemaran yang terjadi pada suatu perairan.

#### 5.3.2.4 Total Organic Matter (TOM)

Hasil pengukuran TOM dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 32.



Gambar 32. Total organic matter (TOM)

Berdasarkan hasil pengukuran TOM selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran TOM di Hilir Sungai Rejoso yaitu 23.0 – 47.9 mg/L.

Nilai TOM tertinggi terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 3, sedangkan nilai TOM terendah terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1 (Gambar 32). Nilai TOM di Hilir Sungai Rejoso pada saat sampling 1 dan 2 telah melebihi Baku Mutu Air PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu 30 mg/L, sedangkan pada saat sampling 3 nilai TOM tidak melebihi baku mutu. Menurut Sembiring *et al.* (2012), nilai TOM yang aman untuk perairan sungai yaitu <30 mg/L.

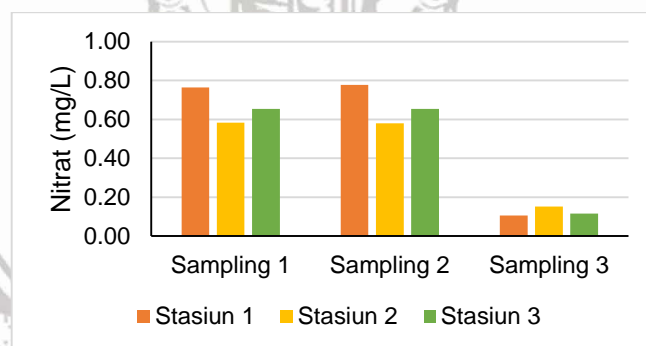
Perbedaan nilai TOM tersebut disebabkan karena perbedaan waktu dan lokasi penelitian. Nilai TOM tinggi pada saat sampling 1 dan 2 karena waktu penelitian

pada saat musim kemarau. Menurut Robin dan Supendi, (2015), tingginya bahan organik di perairan yang diakibatkan oleh buangan limbah domestik, pertanian, dan limbah industri dapat menurunkan kadar oksigen terlarut. Perbedaan musim juga dapat mempengaruhi jumlah bahan organik di perairan. Pada saat musim kemarau kadar bahan organik dalam perairan akan meningkat, namun saat musim hujan bahan organik akan menurun karena mengalami pengenceran.

Faktor yang mempengaruhi jumlah konsentrasi TOM pada suatu perairan adalah letak sungai atau perairan yang berdekatan dengan pemukiman warga, hutan mangrove dan banyaknya substrat halus. Jenis sedimen yang lebih halus memiliki kandungan bahan organik yang lebih banyak jika dibandingkan dengan jenis sedimen yang lebih kasar. Tingginya kandungan TOM dapat menyebabkan rendahnya kandungan oksigen terlarut dalam perairan (Susana, 2009).

#### 5.3.2.5 Nitrat

Hasil pengukuran nitrat dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 33.



Gambar 33. Nitrat

Berdasarkan hasil pengukuran nitrat selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran nitrat di Hilir Sungai Rejoso yaitu 0.11 – 0.78 mg/L.

Nilai nitrat tertinggi terjadi pada saat sampling 2 di stasiun 1, sedangkan nilai nitrat terendah terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1 dan 3 (Gambar 33). Nilai nitrat



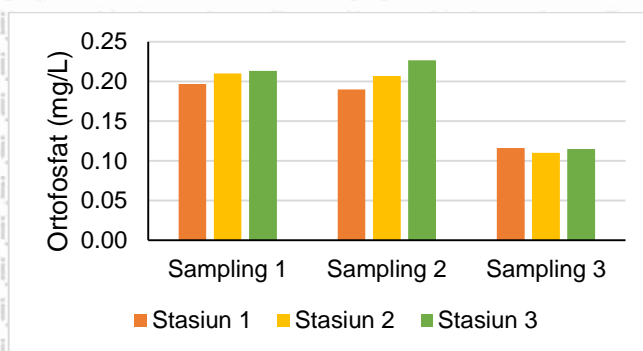
di Hilir Sungai Rejoso masih memenuhi nilai Baku Mutu Air menurut PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu 20 mg/L. Nilai tersebut berbeda dengan pernyataan Arizuna *et al.* (2014), bahwa normalitas kandungan nitrat di suatu perairan berkisar antara 0-4 mg/L. Nitrat dapat digunakan untuk menentukan tingkat kesuburan suatu perairan. Perairan yang memiliki kandungan nitrat 0-1 mg/L termasuk tipe perairan oligotrofik, 1-5 mg/L termasuk tipe perairan mesotrofik, dan 5-50 mg/L termasuk tipe eutrofik. Wilayah hilir Sungai Rejoso termasuk ke dalam tipe perairan oligotrofik.

Perbedaan kandungan nitrat pada tiap stasiun bisa disebabkan karena perbedaan waktu dan lokasi penelitian, kedalaman perairan dan jumlah limbah pencemar yang masuk ke masing-masing stasiun. Tingginya nilai nitrat pada stasiun 1 disebabkan karena letaknya dekat dengan area pemukiman warga dan industri. Hal tersebut didukung dengan pernyataan Casali *et al.* (2010), bahwa kegiatan pertanian dan limbah domestik akan menghasilkan limpasan, sedimen nitrat dan fosfat. Banyaknya jumlah limbah pencemar yang masuk ke dalam badan sungai dapat meningkatkan kandungan nitrat.

Tingginya kandungan nitrat di perairan sungai dapat menyebabkan eutrofikasi pada sungai tersebut dan juga menyebabkan pencemaran. Sedangkan, rendahnya kandungan nitrat dikarenakan terjadinya proses denitrifikasi dimana nitrat melalui nitrit akan menghasilkan nitrogen bebas yang akhirnya kembali menjadi amonia (Dike *et al.*, 2010).

### 5.3.2.6 Ortofosfat

Hasil pengukuran ortofosfat dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 34.



**Gambar 34.** Ortofosfat

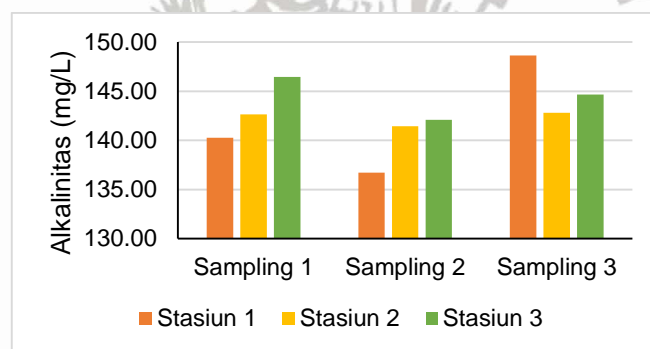
Berdasarkan hasil pengukuran ortofosfat selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran ortofosfat di Hilir Sungai Rejoso yaitu 0.11 – 0.23 mg/L. Nilai tertinggi ortofosfat terjadi pada saat sampling 2 di stasiun 3, sedangkan nilai ortofosfat terendah terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 2 dan 3 (Gambar 34). Nilai ortofosfat di Hilir Sungai Rejoso masih tergolong optimal dan belum melebihi Baku Mutu Air menurut PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu 1 mg/L, artinya wilayah hilir Sungai Rejoso memiliki tingkat kesuburan yang cukup baik. Menurut Mustofa (2015), kandungan nitrat dan fosfat dapat dijadikan tolok ukur kesuburan suatu perairan, dimana semakin optimal kandungan nitrat dan fosfat maka akan semakin melimpah fitoplankton. Namun, jika nilainya telah melebihi baku mutu yang ditetapkan maka akan menjadi tercemar.

Limbah domestik dan industri menjadi sumber utama kandungan ortofosfat di perairan sungai. Detergen dapat meningkatkan kandungan ortofosfat di perairan sungai karena ion tersebut merupakan salah satu penyusunnya. Tingginya kandungan ortofosfat juga dapat mengakibatkan perairan sungai menjadi eutrofikasi dan tercemar (Tungka *et al.*, 2016).

Perubahan musim yang disertai dengan perubahan suhu dan distribusi hujan dapat mempengaruhi tinggi rendahnya kandungan ortofosfat di perairan sungai (Rao *et al.*, 2017). Menurut Widiqdo *et al.* (2020), kandungan ortofosfat pada saat musim hujan cenderung lebih rendah daripada saat musim kemarau. Pernyataan tersebut dibuktikan oleh hasil penelitian Faizal *et al.* (2012), dimana kandungan ortofosfat di perairan Kepulauan Spermonde pada saat musim hujan sebesar 19-71  $\mu\text{g/L}$ , sedangkan pada saat musim kemarau sebesar 19-91  $\mu\text{g/L}$ . Menurut Aisyah dan Nomosatryo (2016), nutrisi akan mengalami pengenceran saat musim hujan sehingga konsentrasinya cenderung menurun.

### 5.3.2.7 Alkalinitas

Hasil pengukuran alkalinitas dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 35.



Gambar 35. Alkalinitas

Berdasarkan hasil pengukuran alkalinitas selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran alkalinitas di Hilir Sungai Rejoso yaitu 136.7 – 148.6 mg/L. Nilai alkalinitas tertinggi terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1, sedangkan nilai alkalinitas terendah terjadi pada saat sampling 2 di stasiun 1 (Gambar 35). Nilai alkalinitas di Hilir Sungai Rejoso telah melebihi Baku Mutu Air menurut PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu 75 mg/L. Perairan dengan nilai alkalinitas yang terlalu tinggi tidak terlalu disukai oleh organisme akuatik karena

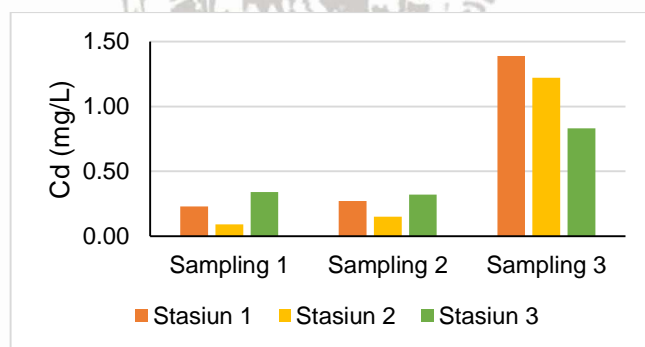
biasanya diikuti dengan nilai kesadahan yang tinggi atau kadar garam natrium yang tinggi.

Tingginya nilai alkalinitas di perairan dapat menjadi pemicu stres pada ikan dan mengganggu sistem pertahanan tubuh ikan. Akibatnya terjadi perubahan jumlah pada sel darah ikan, terutama sel darah putih (leukosit) (Davidson *et al.*, 2009). Selain itu, tingginya alkalinitas diikuti dengan meningkatnya pH perairan.

Alkalinitas menggambarkan kapasitas air dalam menetralkan asam, atau kapasitas penyangga (*buffer capacity*) terhadap perubahan pH. Perairan dengan nilai alkalinitas  $\geq 20$  ppm menunjukkan perairan relatif stabil terhadap perubahan asam/basa (Lestari *et al.*, 2012).

#### 5.3.2.8 Kadmium (Cd)

Hasil pengukuran Cd dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 36.



**Gambar 36.** Konsentrasi kadmium (Cd) di air

Berdasarkan hasil pengukuran Cd selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran Cd di Hilir Sungai Rejoso antara 0.09 – 1.39 mg/L.

Nilai Cd tertinggi terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1, sedangkan nilai Cd terendah terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 2 (Gambar 36). Nilai Cd di Hilir

Sungai Rejoso telah melebihi Baku Mutu Air menurut PP 22 Tahun 2021 Kelas III yaitu 0.01 mg/L. Perbedaan kandungan Cd di tiap-tiap stasiun bisa disebabkan

karena waktu pengukuran, lokasi dan juga jenis serta jumlah limbah pencemar yang masuk ke badan sungai.

Salah satu penyebab menurunnya kondisi kualitas air sungai yaitu masuknya logam berat di perairan. Kontaminasi Cd di dalam perairan bisa melalui proses alami dan juga antropogenik yaitu buangan limbah akibat aktivitas manusia (Hidayah *et al.*, 2014). Tingginya kandungan Cd yang berasal dari alam dan ditambah dari limbah industri dan domestik dapat menimbulkan pencemaran yang meluas, mengingat logam berat Cd merupakan substansi persisten di dalam lingkungan (Amalia *et al.*, 2016).

Tingginya nilai Cd pada stasiun 3 disebabkan limbah dari kegiatan agrikultur. Sesuai dengan pernyataan Blume *et al.* (2010), bahwa sumber pencemaran logam berat tidak hanya berasal dari limbah industri, namun juga berasal dari limbah domestik, pertanian dan persawahan. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Farombi *et al.* (2007), bahwa pencemaran yang terjadi di perairan sungai berasal dari meningkatnya jumlah limbah seperti limbah domestik, emisi pembakaran, kegiatan pertambangan dan kegiatan agrikultur.

Bioakumulasi logam berat dalam tubuh ikan atau organisme akuatik lainnya merupakan dampak negatif dari masuknya bahan pencemar di perairan.

Akumulasi Cd di dalam tubuh ikan tergantung pada konsentrasi Cd di dalam air, pH, DO dan suhu (Zainuri *et al.*, 2011). Tingginya kandungan Cd di perairan dapat menimbulkan kerusakan pada sistem fisiologis tubuh ikan seperti ginjal, hati, jantung serta sistem sirkulasi darah ikan (Hidayah *et al.*, 2014).

#### **5.4 Status Pencemaran Perairan di Hilir Sungai Rejoso**

Status pencemaran perairan di Hilir Sungai Rejoso ditentukan dengan menggunakan metode STORET. Hasil analisis status pencemaran perairan Hilir Sungai Rejoso pada ketiga stasiun dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 7. Skoring STORET

Stasiun	Total Skor	Kelas	Kategori	Status
1	-66	D	Buruk	Tercemar berat
2	-66	D	Buruk	Tercemar berat
3	-66	D	Buruk	Tercemar berat

Hasil skoring dalam menentukan status pencemaran perairan Hilir Sungai

Rejoso pada stasiun 1, 2 dan 3 yaitu jumlah skor sebesar -66. Skor tersebut menunjukkan bahwa wilayah Hilir Sungai Rejoso termasuk kategori buruk dengan status pencemaran yaitu tercemar berat. Parameter yang tidak optimum atau melebihi Baku Mutu PP 22 Tahun 2021 yaitu parameter fisika meliputi TSS dengan jumlah skor -10 dan parameter kimia meliputi TOM dengan skor -16, alkalinitas dan Cd dengan skor -20 (Lampiran 4).

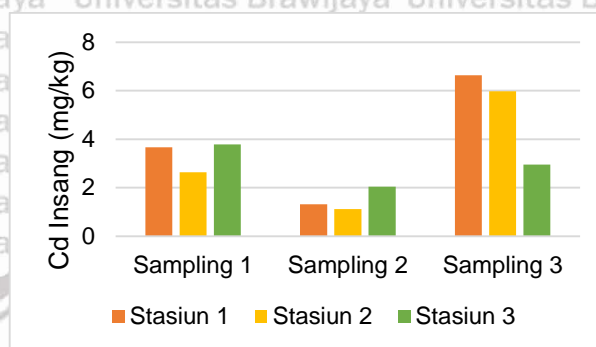
Sumber utama pencemaran pada stasiun 1 yaitu limbah industri dari PT. Cheil Jedang Indonesia, limbah rumah tangga atau domestik serta polusi kendaraan. Sumber utama pencemaran pada stasiun 2 yaitu limbah cair dari kegiatan pertambakan, agrikultur dan limbah domestik. Sumber utama pencemaran pada stasiun 3 yaitu limbah agrikultur (pupuk dan bahan kimia pertanian). Banyaknya jumlah dan jenis limbah pencemar yang masuk ke dalam badan sungai dapat mengakibatkan penurunan kualitas air sungai serta meningkatnya konsentrasi logam berat di dalam sungai tersebut.

Menurut Chaudhary *et al.* (2017), faktor yang dapat menyebabkan tingginya bahan pencemar logam berat serta menurunnya kondisi suatu perairan pada yaitu disebabkan oleh limbah industri (*industrial wastes*), limbah domestik (*domestic urban wastes*), limbah cair perkotaan (*urban stormwater*), limbah cair pemukiman warga (*sewage*), limbah pertanian (*agricultural wastes*), limbah perikanan budidaya dan kegiatan pertambangan.

## 5.5 Logam Berat Kadmium (Cd) pada Organ Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

### 5.5.1 Insang

Hasil pengukuran Cd pada organ insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 37.



**Gambar 37.** Konsentrasi Cd pada organ insang

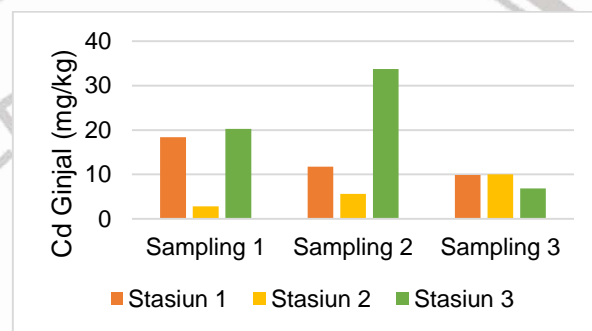
Berdasarkan hasil pengukuran Cd pada organ insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran antara 1.12 – 6.64 mg/kg. Nilai Cd tertinggi terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1, sedangkan nilai Cd terendah terjadi pada saat sampling 2 di stasiun 2 (Gambar 37). Nilai Cd pada organ insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) telah melebihi baku mutu menurut SNI 7387:2009 yaitu 0.1 mg/kg. Perbedaan kandungan Cd di tiap-tiap stasiun bisa disebabkan karena waktu pengukuran, lokasi dan juga jenis serta jumlah limbah pencemar yang masuk ke badan sungai.

Tingginya konsentrasi Cd pada organ insang di stasiun 1 disebabkan karena tingginya konsentrasi Cd air di stasiun tersebut. Tingginya konsentrasi Cd pada organ insang bisa disebabkan karena meningkatnya kadar Cd pada perairan. Meningkatnya kadar Cd di perairan sungai disebabkan karena banyaknya jumlah bahan toksik atau zat polutan yang berasal dari buangan limbah industri, limbah domestik dan kegiatan pertanian. Pernyataan tersebut didukung oleh pendapat Zainuri *et al.* (2011), bahwa akumulasi logam berat di dalam tubuh ikan tergantung

pada konsentrasi logam berat di dalam lingkungan perairan. Akumulasi Cd pada tubuh ikan nila di duga berasal dari perairan yang telah terkontaminasi bahan toksik. Kandungan Cd pada perairan berasal dari erosi DAS, limbah pertanian dan limbah domestik (rumah tangga). Menurut Hidayah *et al.* (2014), umumnya pupuk fosfat mengandung kadar Cd yang cukup tinggi.

### 5.5.2 Ginjal

Hasil pengukuran Cd pada organ ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 38.



**Gambar 38.** Konsentrasi Cd pada organ ginjal

Berdasarkan hasil pengukuran Cd pada organ ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*) selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran antara 2.85 – 33.72 mg/kg. Nilai Cd tertinggi terjadi pada saat sampling 2 di stasiun 3, sedangkan nilai Cd terendah terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 2 (Gambar 38). Nilai Cd pada organ ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*) telah melebihi baku mutu menurut SNI 7387:2009 yaitu 0.1 mg/kg. Perbedaan kandungan Cd di tiap-tiap stasiun bisa disebabkan karena waktu pengukuran, lokasi dan juga jenis serta jumlah limbah pencemar yang masuk ke badan sungai.

Tingginya konsentrasi Cd organ ginjal ikan nila pada saat sampling 2 di stasiun 3 tidak hanya disebabkan oleh konsentrasi Cd perairan, namun bisa disebabkan karena tingginya konsentrasi Cd pada sedimen. Hal tersebut didukung oleh

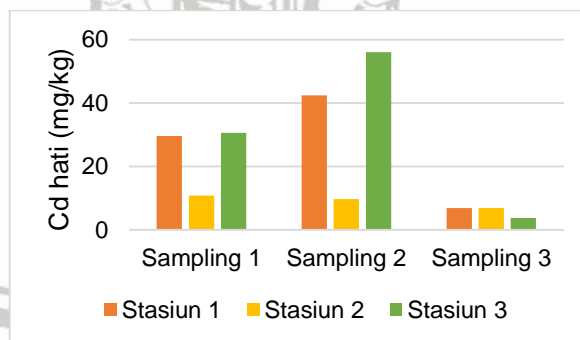


pernyataan Riani *et al.* (2017), bahwa kandungan logam berat yang masuk ke dalam perairan akan menyebar dan terakumulasi pada sedimen. Cd pada sedimen dapat terakumulasi ke dalam tubuh ikan atau organisme akuatik lainnya. Ikan yang memiliki sifat hidup di dasar perairan lebih cepat terkontaminasi dari kandungan Cd pada sedimen.

Meningkatnya konsentrasi logam berat Cd dalam perairan dan sedimen disebabkan oleh limbah yang berasal dari aktivitas daratan (persawahan pemukiman dan lahan terbuka) yang masuk ke dalam perairan baik secara langsung maupun tidak langsung (Muryadi *et al.*, 2020). Logam berat Cd terakumulasi ke dalam organ ginjal melalui saluran pencernaan, insang bahkan kulit. Setelah terjadi penyerapan, selanjutnya logam berat diangkut melalui aliran darah ke organ dan jaringan dimana logam akan terakumulasi (Fazio *et al.*, 2014).

### 5.5.3 Hati

Hasil pengukuran Cd pada organ hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 39.



Gambar 39. Konsentrasi Cd pada organ hati

Berdasarkan hasil pengukuran Cd pada organ hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran antara 3.81 – 56.03 mg/kg. Nilai Cd tertinggi terjadi pada saat sampling 2 di stasiun 3, sedangkan nilai Cd terendah terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 3 (Gambar

39). Nilai Cd pada organ ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*) telah melebihi baku mutu menurut SNI 7387:2009 yaitu 0.1 mg/kg. Perbedaan kandungan Cd di tiap-tiap stasiun bisa disebabkan karena waktu pengukuran, lokasi dan juga jenis serta jumlah limbah pencemar yang masuk ke badan sungai.

Tingginya konsentrasi Cd organ hati ikan nila pada saat sampling 2 di stasiun 3 tidak hanya disebabkan oleh konsentrasi Cd perairan, namun bisa disebabkan karena tingginya konsentrasi Cd pada sedimen. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Riani *et al.* (2017), bahwa konsentrasi Cd pada sedimen lebih tinggi jika dibandingkan konsentrasi Cd di perairan. Hal ini disebabkan logam berat cenderung mengendap ke dalam sedimen. Tingginya konsentrasi Cd pada sedimen menyebabkan tingginya akumulasi Cd pada organ ikan.

Tingginya konsentrasi Cd pada organ insang bisa disebabkan karena meningkatnya kadar Cd pada perairan. Meningkatnya kadar Cd di perairan sungai disebabkan karena banyaknya jumlah bahan toksik atau zat polutan yang berasal dari buangan limbah industri, limbah domestik dan kegiatan pertanian. Pernyataan tersebut didukung oleh pendapat Järup, (2003), bahwa sumber utama Cd berasal dari alam dan antropogenik, yaitu emisi industri dan penggunaan pupuk fosfat. Limbah-limbah tersebut dapat menyebabkan kontaminasi dan peningkatan konsentrasi Cd pada lingkungan.

Berdasarkan hasil penelitian Aksari *et al.*, (2015), konsentrasi Cd pada organ hati ikan sapu-sapu lebih tinggi jika dibandingkan dengan organ insang dan otot.

Tingginya konsentrasi cd pada organ hati ikan dapat disebabkan karena absorpsi terhadap logam berat yang tinggi. Hal tersebut berkaitan dengan fungsi hati yaitu sebagai organ detoksifikasi tubuh. Perbedaan jumlah buangan limbah yang masuk ke dalam perairan menyebabkan jumlah akumulasi Cd di dalam organ juga berbeda. Menurut Eneji *et al.* (2011), perbedaan konsentrasi Cd antar organ di pengaruhi oleh karakter fisiologi organ tersebut.

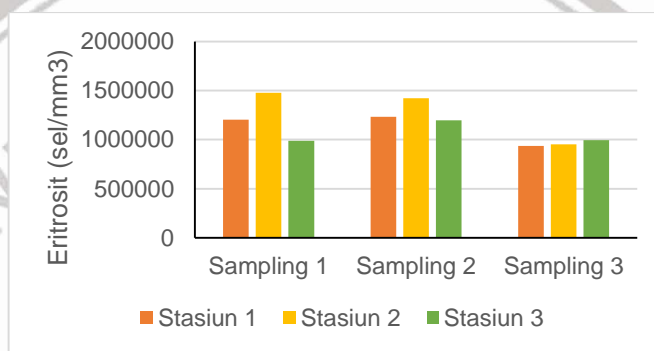
## 5.6 Kondisi Kesehatan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

### 5.6.1 Kondisi Hematologi Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Pengamatan profil darah ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dilaksanakan di Laboratorium UPT Sumber pasir. Data hasil pengamatan hematologi dapat dilihat pada Lampiran 5.

#### 5.6.1.1 Jumlah Sel Darah Merah (Eritrosit)

Hasil pengukuran jumlah sel darah merah (eritrosit) pada ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 40.



**Gambar 40.** Jumlah sel darah merah (Eritrosit)

Berdasarkan hasil pengamatan jumlah eritrosit ikan nila (*Oreochromis niloticus*) selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran antara 936.667 – 1.476.667 sel/mm<sup>3</sup>. Nilai eritrosit tertinggi terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 2, sedangkan nilai eritrosit terendah terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1 (Gambar 40). Jumlah eritrosit pada sampling 3 lebih rendah daripada sampling yang lain. Menurut Maftuch *et al.* (2012), umumnya jumlah eritrosit pada ikan normal yaitu berkisar antara 1.050.000 – 3.000.000 sel/mm<sup>3</sup>. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa beberapa ikan nila yang tertangkap di hilir Sungai Rejoso merupakan ikan yang tidak normal karena jumlah eritrosit < 1.050.000 sel/mm<sup>3</sup>.

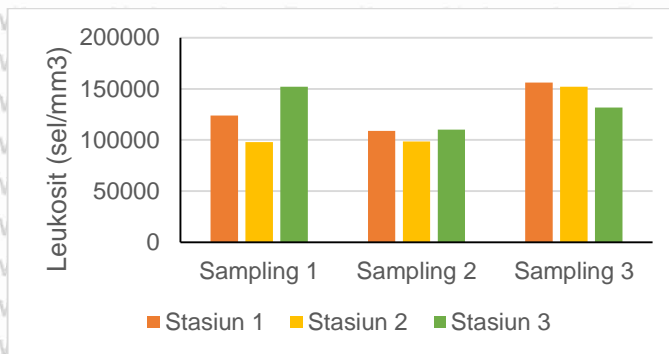
Rendahnya jumlah eritrosit merupakan indikator ikan mengalami anemia, sedangkan tingginya jumlah eritrosit mengindikasikan bahwa ikan sedang mengalami stress (Fauzan *et al.*, 2017). Ikan yang terkena anemia akan terhambat pertumbuhannya, karena rendahnya jumlah eritrosit dapat menyebabkan suplai makanan sel, jaringan dan organ akan berkurang akhirnya proses metabolisme ikan akan terhambat (Alamanda *et al.*, 2007). Tinggi rendahnya jumlah eritrosit dapat disebabkan karena beberapa faktor, yaitu jenis kelamin ikan, umur ikan, nutrisi, penyakit pada ikan dan kondisi lingkungan. Ikan yang terkena penyakit nafsu makannya akan turun, akibatnya nilai hematokrit darahnya menjadi tidak normal. Hal tersebut akan diikuti oleh rendahnya jumlah eritrosit (Yanto *et al.*, 2015).

Menurut Bozorgnia *et al.* (2011), kondisi perairan yang memiliki nilai suhu tinggi akan menyebabkan jumlah eritrosit ikan meningkat. Ketika terjadi peningkatan suhu maka aktivitas penyerapan oksigen oleh eritrosit juga meningkat. Tubuh ikan akan mengkompensasi perubahan kekurangan oksigen dengan meningkatkan jumlah eritrosit.

Masuknya kandungan bahan organik dan bahan pencemar di dalam perairan sungai juga dapat mempengaruhi jumlah eritrosit pada ikan. Menurut Ebokaiwe *et al.* (2018), bahwa paparan logam berat dapat memberikan dampak negatif pada tubuh ikan, dimana dapat merusakkan sistem saraf dan ginjal yang ditandai dengan menurunnya jumlah eritrosit.

### 5.6.1.2 Jumlah Sel Darah Putih (Leukosit)

Hasil pengukuran jumlah sel darah putih (leukosit) pada ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 41.



**Gambar 41.** Sel darah putih (Leukosit)

Berdasarkan hasil pengamatan jumlah leukosit ikan nila (*Oreochromis niloticus*) selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran antara 97.917 – 156.267 sel/mm<sup>3</sup>. Nilai leukosit tertinggi terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1, sedangkan nilai leukosit terendah terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 2 (Gambar 41). Jumlah eritrosit pada sampling 3 di stasiun 1 dan 2 lebih tinggi daripada di stasiun yang lain. Jumlah leukosit ikan normal berkisar antara 20.000-150.000 sel/mm<sup>3</sup> (Sahetapy, 2012). Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa beberapa ikan nila yang tertangkap di hilir Sungai Rejoso merupakan ikan yang tidak normal karena jumlah leukosit >150.000 sel/mm<sup>3</sup>.

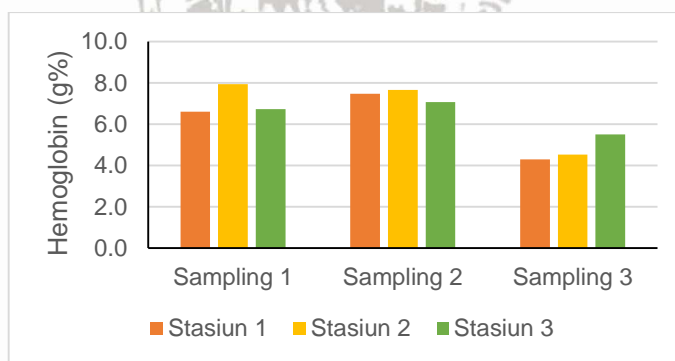
Rendahnya jumlah leukosit disebut leukopenia yang menandakan bahwa ikan tersebut mengalami stress, sedangkan meningkatnya jumlah leukosit disebut leukositosis yang menandakan bahwa ikan tersebut terserang infeksi penyakit atau melawan benda asing (logam berat) sebagai bentuk respon imun tubuh ikan dalam melawan mikroorganisme (Sugito *et al.*, 2014). Jumlah leukosit pada ikan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu umur ikan dan jenis ikan. Selain itu, jumlah leukosit juga dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan perairan dan

ketersediaan pakan alami. Kondisi perairan yang buruk dan ketersediaan pakan alami yang tidak mencukupi dapat menyebabkan penurunan jumlah leukosit pada ikan, akibatnya ikan mengalami penurunan dalam memproduksi antibodi, sehingga ketahanan tubuh menurun dan mudah terserang penyakit (Fauzan *et al.*, 2017).

Berdasarkan pernyataan Yanto *et al.* (2015). jumlah leukosit yang dalam angka normal menunjukkan bahwa proses pembuatan sel darah (hematopoiesis) masih terjadi pada ikan nila walaupun kondisi perairan tercemar oleh limbah. Menurut Bozorgnia *et al.* (2011), menurunnya jumlah leukosit disebabkan adanya kerusakan pada sel hati dan ginjal.

### 5.6.1.3 Jumlah Hemoglobin

Hasil pengukuran jumlah hemoglobin pada ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 42.



**Gambar 42.** Jumlah haemoglobin (Hb)

Berdasarkan hasil pengamatan kadar Hb ikan nila (*Oreochromis niloticus*) selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran antara 4.3 – 7.9 g%. Nilai Hb tertinggi terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 2, sedangkan nilai Hb terendah terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1 (Gambar 42). Kadar Hb pada sampling 3 di stasiun 1 dan 2 lebih rendah daripada di stasiun yang lain.

Umumnya, kadar Hb pada ikan akuatik yaitu 5.05-8.33 g% (Safitri *et al.*, 2013).

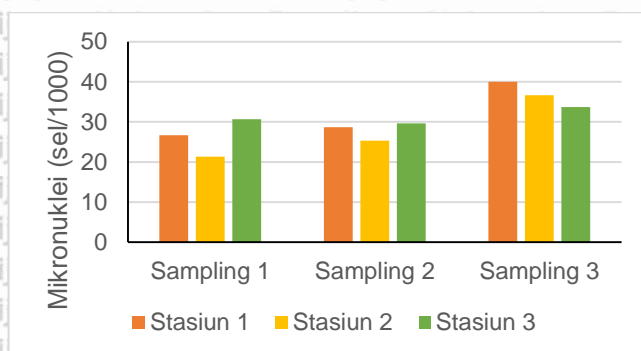
Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa beberapa ikan nila yang tertangkap di hilir Sungai Rejoso merupakan ikan yang tidak normal karena kadar Hb <5.05 g%.

Rendahnya nilai Hb pada sampling 3 di stasiun 1 dan 2 disebabkan karena rendahnya jumlah eritrosit pada stasiun tersebut. Rendahnya nilai Hb menunjukkan bahwa proses hematopoiesis pada ikan mulai lambat atau terganggu akibat paparan logam berat. Menurut Matofani *et al.* (2013), jumlah Hb berbanding lurus dengan jumlah eritrosit pada ikan. Menurunnya jumlah Hb menandakan bahwa ikan mengalami anemia. Pendapat tersebut diperjelas oleh Syahrial *et al.* (2013), bahwa jumlah Hb berkaitan dengan jumlah eritrosit, namun keduanya belum tentu berkorelasi karena Hb merupakan kandungan pigmen sel darah merah.

Nilai Hb dapat menentukan tingkat ketahanan tubuh pada ikan dikarenakan hubungannya yang sangat erat dengan adanya daya ikat oksigen oleh darah (Nirmala *et al.*, 2013). Kemampuan mengikat oksigen dalam darah tergantung pada jumlah Hb yang terdapat dalam sel darah merah. Rendahnya kadar hemoglobin menyebabkan laju metabolisme menurun dan energi yang dihasilkan menjadi rendah. Hal tersebut dapat membuat ikan lemah dan tidak nafsu makan (Prasetio *et al.*, 2017).

#### 5.6.1.4 Jumlah Mikronuklei

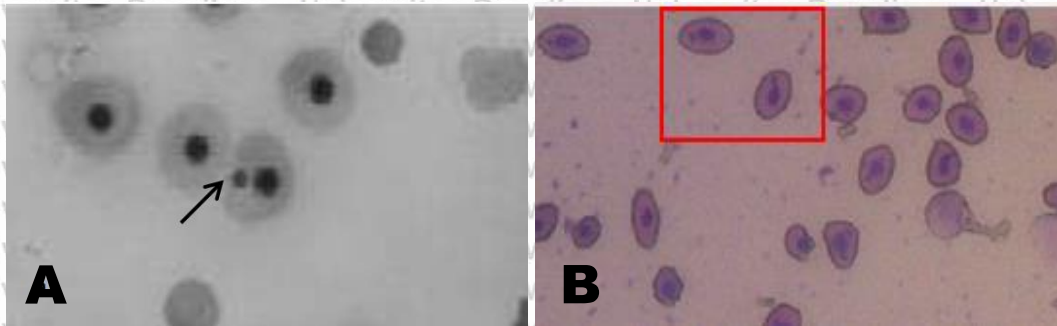
Hasil pengukuran jumlah hemoglobin pada ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 43.



**Gambar 43.** Mikronuklei

Berdasarkan hasil pengamatan jumlah mikronuklei ikan nila (*Oreochromis niloticus*) selama penelitian bulan April-September 2021 didapatkan nilai kisaran antara 21 - 40 sel/1000. Jumlah mikronuklei tertinggi terjadi pada saat sampling 3 di stasiun 1, sedangkan jumlah mikronuklei terendah terjadi pada saat sampling 1 di stasiun 2 (Gambar 43). Jumlah mikronuklei pada sampling 3 lebih tinggi daripada di stasiun yang lain. Menurut Ibrahim *et al.*, (2019), jumlah mikronuklei <30 sel/1000 menunjukkan bahwa ikan tersebut dalam keadaan sehat. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa beberapa ikan nila yang tertangkap di hilir Sungai Rejoso merupakan ikan yang tidak normal karena jumlah mikronuklei >30 sel/1000.





**Gambar 44.** Mikronuklei ikan nila perbesaran 400x (A) (Obiakor *et al.*, 2012) ; Mikronuklei hasil penelitian perbesaran 400x (B) (Dokumentasi pribadi, 2021)

Genotoksisitas merupakan kemampuan bahan kimia dalam merusak genetik sel hingga menyebabkan terjadinya mutasi sel. Uji mikronuklei (MN) penting dilakukan untuk memantau kondisi organisme akuatik akibat dari paparan bahan toksik di perairan. Tingginya konsentrasi logam berat di perairan telah terbukti dapat menginduksi pembentukan mikronuklei atau kerusakan ini sel darah lainnya (Obiakor *et al.*, 2012). Telah dibuktikan oleh Dubey dan Tripathi (2014), dari hasil penelitian yang dilakukan mengenai efek genotoksisitas paparan logam berat Cd terhadap tiga jenis jaringan pada ikan *Channa pucantus* yaitu pada eritrosit, sel ginjal dan sel insang selama 96 jam paparan dengan menggunakan uji MN. Telah didapatkan hasil bahwa frekuensi MN dengan nilai tertinggi yaitu sel insang, eritrosit kemudian sel ginjal.

Pernyataan tersebut didukung dengan hasil penelitian Ozkan *et al.* (2011), menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi Cd dan lama durasi paparan pada *Oreochromis niloticus* maka dapat meningkatkan frekuensi pembentukan mikronuklei dalam darah. Menurut Tyastuti *et al.* (2016), meningkatnya jumlah kelainan sel pada darah ikan disebabkan karena buruknya kondisi lingkungan perairan serta adanya bahan polutan yang mencemari lingkungan perairan tersebut. Logam berat Cd menjadi salah satu jenis polutan

yang dapat terakumulasi pada tubuh organisme akuatik dan dapat mempengaruhi fisiologis ikan.

### 5.6.2 Kondisi Histologi Organ Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Pembuatan irisan jaringan dilakukan di Laboratorium Patologi dan Anatomi Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya. Selanjutnya, dilakukan skoring dengan menggunakan aplikasi Master Olyvia. Data hasil pengamatan histologi dapat dilihat pada Lampiran 6.

#### 5.6.2.1 Organ Insang

Hasil pengamatan histologi pada organ insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 10.

**Tabel 8.** Kerusakan jaringan pada organ insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

Lokasi	Kerusakan			Average (%)	Status Kerusakan
	Nekrosis	Hiperplasia	Kongesti		
Stasiun 1	69.89	71.44	64.78	68.70	Sedang
Stasiun 2	61.00	67.22	61.56	63.26	Sedang
Stasiun 3	67.33	72.11	63.56	67.67	Sedang

Berdasarkan hasil pengamatan kerusakan jaringan pada organ insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada ketiga stasiun selama penelitian bulan April-September 2021 yaitu berkisar 63.26-68.70 % dengan status kerusakan sedang. Kerusakan tertinggi terdapat pada stasiun 1 dengan nilai rata-rata sebesar 68.70 %. Hal tersebut dikarenakan kadar Cd tertinggi pada organ insang terdapat pada stasiun 1. Besarnya kerusakan insang yang dialami sebesar  $50 \leq P < 75\%$  menunjukkan bahwa kondisi struktur insang ikan nila berada pada keadaan rusak sedang. Kerusakan pada organ insang ikan nila diawali dengan kerusakan tingkat ringan atau degeneratif, yaitu ditandai dengan adanya kerusakan hiperplasia (pembengkakan sel). Kerusakan pada jaringan insang terus bertambah menjadi

tingkat yang lebih parah ditandai dengan adanya nekrosis (kematian sel) ketika konsentrasi Cd semakin meningkat di dalam organ ikan, sehingga hal dikategorikan dalam kerusakan kronis. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian Lestari *et al.* (2018), bahwa organ insang ikan mujair di air Lagoon Nusa Dua, Bali telah mengalami tingkat kerusakan sedang. Perubahan histologi yang terjadi pada jaringan insang disebabkan karena kondisi air di Lagoon sangat keruh.

Jenis kerusakan yang ditemukan yaitu hiperplasia lamela sekunder, edema dan fusi lamela sekunder. Tingginya konsentrasi zat toksik di perairan Lagoon dapat menyebabkan pembendungan aliran darah sehingga terjadi pembengkakan sel atau edema lamela sekunder pada insang (Maftuch *et al.*, 2015).

Menurut Akpakpan *et al.* (2014), logam berat jenis Cd dianggap sebagai elemen non-esensial yang masuk ke dalam lingkungan perairan melalui pembuangan limbah industri, pertanian dan kegiatan pertambangan. Kerusakan yang ditemukan pada organ insang akibat paparan logam berat Cd meliputi nekrosis, hiperplasia dan kongesti. Hasil penelitian tersebut sama dengan hasil penelitian Javed *et al.* (2016), dimana kerusakan yang terjadi pada organ insang akibat paparan logam berat yaitu pembengkakan pada lamela, hiperplasia dan nekrosis. Epitel mengalami degenerasi yang disebabkan paparan logam berat sehingga mengakibatkan fungsi osmoregulasinya terganggu.

Efek negatif dari tingginya berbagai macam bahan polutan dapat mengganggu kinerja dari organ insang. Mekanisme masuknya zat toksik ke dalam insang yaitu air masuk melalui lamela insang sehingga partikel-partikel tersuspensi akan menempel pada mukus insang. Semakin banyak jumlah partikel yang masuk ke dalam insang maka sel mukus akan lebih banyak memproduksi mukus. Mukus berfungsi dalam menangkap partikel-partikel asing yang masuk ke dalam insang (Lestari *et al.*, 2018).

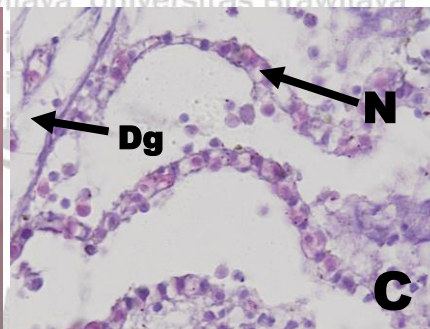
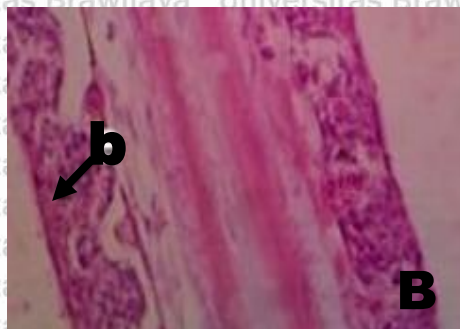
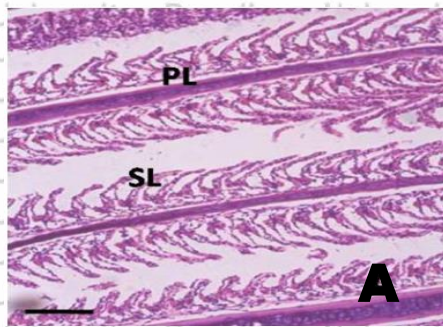
Menurut hasil penelitian Mishra dan Mohanty (2008), menunjukkan bahwa paparan logam berat Cd pada *Channa punctatus* dapat menyebabkan terjadinya perubahan histopatologi pada insang seperti pengangkatan epitel dan hiperplasia.

Hal tersebut dapat menurunkan tingkat konsumsi oksigen dan mengganggu proses osmoregulasi. Selain itu, paparan berbagai jenis logam berat juga dapat mengurangi kinerja enzim Na, K-ATPase pada insang ikan nila.

### 1. Nekrosis

Nekrosis merupakan kondisi dimana terjadinya kematian sel akibat kerusakan sel akut yang disebabkan karena kekurangan oksigen dan perubahan suhu ekstrim. Kematian sel terjadi secara tidak terkontrol yang dapat merusak sel. Biasanya kerusakan nekrosis ini disebabkan karena adanya stimulus yang bersifat patologis. Selain itu, nekrosis juga dapat terjadi melalui mekanisme yang disebut dengan apoptosis. Apoptosis yaitu kematian sel yang telah terprogram dimana setelah mencapai masa hidup tertentu maka sel akan mati (Lubis *et al.*, 2014)

Menurut Strzyzewska *et al.* (2016) sebelum terjadinya kerusakan nekrosis pada jaringan insang, akan diawali dengan kerusakan hipertropi dan hiperplasia. Selain itu, kerusakan edema yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan terjadinya nekrosis. Hal tersebut dikarenakan sel kehilangan kemampuan dalam memperbaiki kerusakan yang ada. Hasil pengamatan histologi jaringan insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400x dapat dilihat pada Gambar 45.

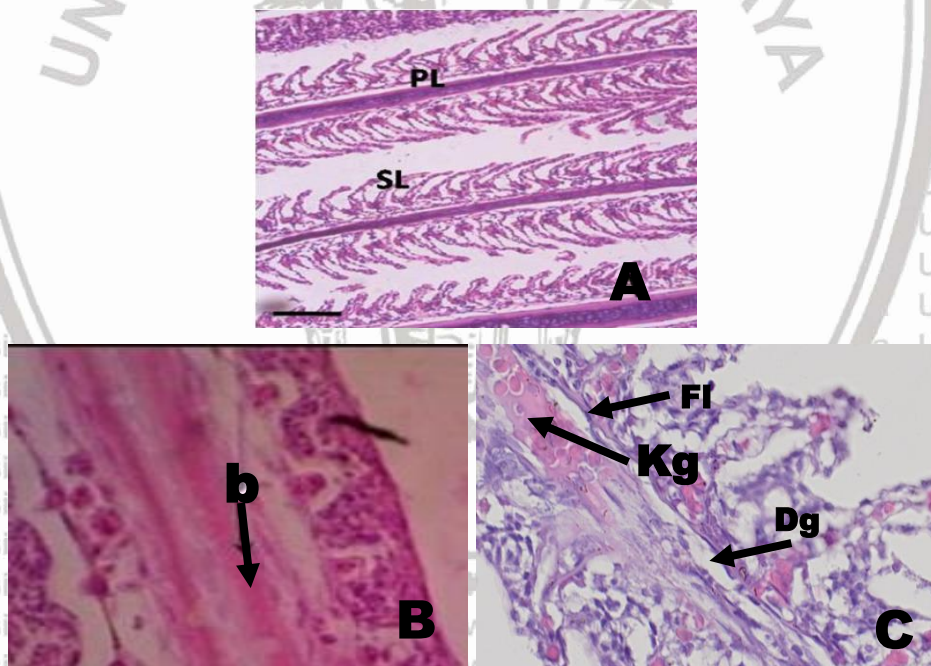


**Gambar 45.** Histologi insang ikan nila normal perbesaran 100x (A) (Vasanthi *et al.*, 2012) ; Kerusakan nekrosis perbesaran 400x (B) (Yolanda *et al.*, 2017) ; Dokumentasi pribadi, 2021 perbesaran 400x (C)

Berdasarkan gambar (A) yaitu struktur jaringan insang ikan nila normal masih terlihat jelas bagian lamela primer (PL) dan lamela sekunder (SL). Gambar (B) menunjukkan terjadinya kerusakan nekrosis berdasarkan referensi dan pada gambar (C) adalah hasil pengamatan pada struktur organ insang ikan nila di Hilir Sungai Rejoso yang telah terpapar logam berat Cd didapatkan jenis kerusakan berupa nekrosis (N). Selain kerusakan nekrosis, telah ditemukan kerusakan lain yaitu degenerasi (Dg) pada jaringan insang ikan nila (Gambar 45C). Analisis kerusakan nekrosis pada insang ikan nila dilakukan dengan perhitungan skoring dimana jumlah sel yang dianalisis sebanyak 300 sel dengan 5 bidang pandang. Hasil perhitungan didapatkan jumlah kerusakan nekrosis berkisar antara 61.00-69.89 %. Menurut Wolf *et al.* (2015), persentase tersebut termasuk kategori rusak sedang.

## 2. Kongesti

Kongesti merupakan proses pasif dari aliran darah dalam vena (Andayani *et al.*, 2018). Kongesti dapat didefinisikan sebagai meningkatnya jumlah darah dalam pembuluh darah yang ditunjukkan dengan pelebaran kapiler darah yang penuh terisi dengan sel darah merah (Hardi *et al.*, 2011). Kerusakan kongesti pada jaringan insang dapat disebabkan karena tingginya konsentrasi paparan logam berat di dalam perairan. Kongesti terjadi akibat reaksi peradangan dan kerusakan organ insang. Kerusakan ini dapat ditandai dengan adanya warna merah pada sel. Hal tersebut terjadi karena adanya peningkatan darah dalam pembuluh darah (Royan *et al.*, 2014). Hasil pengamatan histologi jaringan insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400x dapat dilihat pada Gambar 46.



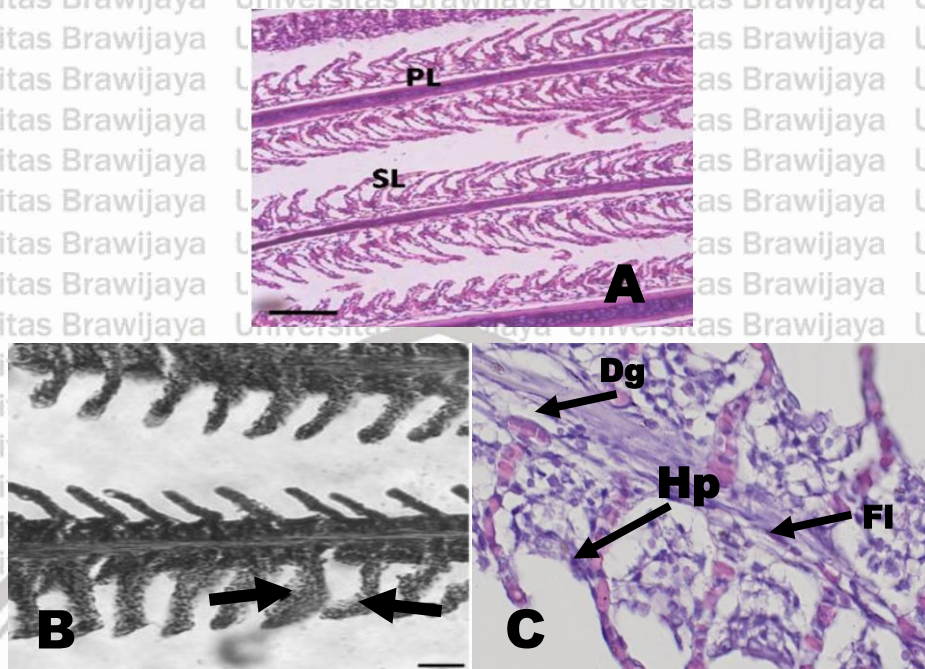
**Gambar 46.** Histologi insang ikan nila normal perbesaran 100x (A) (Vasanthi *et al.*, 2012) ; Kerusakan kongesti perbesaran 400x (B) (Yolanda *et al.*, 2017) ; Dokumentasi pribadi, 2021 perbesaran 400x (C)

Berdasarkan gambar (A) yaitu struktur jaringan insang ikan nila normal masih terlihat jelas bagian lamela primer (PL) dan lamela sekunder (SL). Gambar (B) menunjukkan terjadinya kerusakan kongesti berdasarkan referensi dan pada gambar (C) adalah hasil pengamatan pada struktur organ insang ikan nila di Hilir Sungai Rejoso yang telah terpapar logam berat Cd didapatkan jenis kerusakan berupa kongesti (Kg). Selain kerusakan kongesti, telah ditemukan kerusakan lain yaitu degenerasi (Dg) dan fusi lamela (FI) pada jaringan insang ikan nila (Gambar 46C). Analisis kerusakan kongesti pada insang ikan nila dilakukan dengan perhitungan skoring dimana jumlah sel yang dianalisis sebanyak 300 sel dengan 5 bidang pandang. Hasil perhitungan didapatkan jumlah kerusakan kongesti berkisar antara 61.56-64.78 %. Menurut Wolf *et al.* (2015), persentase tersebut termasuk kategori rusak sedang.

### 3. Hiperplasia

Hiperplasia merupakan suatu keadaan dimana jaringan mengalami pembengkakan karena jumlah sel bertambah. Kerusakan hiperplasia yang terjadi pada jaringan insang bisa membuat lamela insang terlihat lebih besar dari kondisi normal (Jamin dan Erlangga, 2016). Menurut Kalaiyarasi *et al.* (2017), hiperplasia terjadi disertai dengan peningkatan jumlah sel-sel mukus di dasar lamela dan mengakibatkan fusi lamela. Hiperplasia terjadi sebagai bentuk respon insang terhadap paparan logam berat untuk mengurangi penyerapan kontaminan ke dalam aliran darah (Akmal *et al.*, 2018). Selain itu, kerusakan pada jaringan insang juga disebabkan oleh buruknya kondisi lingkungan perairan seperti menurunnya pH air, kandungan amonia yang cukup tinggi, zat-zat lain hasil dari metabolisme ikan itu sendiri, serta sampah atau buangan industri yang masuk ke dalam perairan (Juanda dan Edo, 2018). Hasil pengamatan histologi jaringan insang ikan

nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400x dapat dilihat pada Gambar 47.



**Gambar 47.** Histologi insang ikan nila normal perbesaran 100x (A) (Vasanthi *et al.*, 2012) ; Kerusakan hiperplasia perbesaran 100x (B) (Akmal *et al.*, 2018) ; Dokumentasi pribadi, 2021 perbesaran 400x (C)

Berdasarkan gambar (A) yaitu struktur jaringan insang ikan nila normal masih terlihat jelas bagian lamela primer (PL) dan lamela sekunder (SL). Gambar (B) menunjukkan terjadinya kerusakan hiperplasia berdasarkan referensi dan pada gambar (C) yaitu hasil pengamatan pada struktur organ insang ikan nila di Hilir Sungai Rejoso yang telah terpapar logam berat Cd didapatkan jenis kerusakan berupa hiperplasia (Hp). Selain kerusakan hiperplasia, telah ditemukan kerusakan lain yaitu degenerasi (Dg) dan fusi lamela (FI) pada jaringan insang ikan nila (Gambar 47C). Analisis kerusakan hiperplasia pada insang ikan nila dilakukan dengan perhitungan skoring dimana jumlah sel yang dianalisis sebanyak 300 sel dengan 5 bidang pandang. Hasil perhitungan didapatkan jumlah kerusakan hiperplasia berkisar antara 67.22-72.11 %. Menurut Wolf *et al.* (2015), persentase tersebut termasuk kategori rusak sedang.



### 5.6.2.2 Organ Ginjal

Hasil pengamatan histologi pada organ ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 9.** Kerusakan jaringan pada organ ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

Lokasi	Kerusakan			Average (%)	Status Kerusakan
	Nekrosis	Degenerasi	Kongesti		
Stasiun 1	58.67	77.78	63.67	66.70	Sedang
Stasiun 2	39.44	70.78	56.78	55.67	Sedang
Stasiun 3	62.11	79.00	70.59	70.57	Sedang

Berdasarkan hasil pengamatan kerusakan jaringan pada organ ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada ketiga stasiun selama penelitian bulan April-September 2021 yaitu berkisar 55.67-70.57 % dengan status kerusakan sedang. Kerusakan tertinggi terdapat pada stasiun 3 dengan nilai rata-rata sebesar 70.57 %. Hal tersebut dikarenakan kadar cd tertinggi pada ginjal terdapat pada stasiun 3. Besarnya kerusakan ginjal yang dialami sebesar  $50 \leq P < 75\%$  menunjukkan bahwa kondisi struktur ginjal ikan nila berada pada keadaan rusak sedang. Kerusakan pada organ ginjal ikan nila diawali dengan kerusakan tingkat ringan atau degeneratif, yaitu ditandai dengan adanya kerusakan degenerasi (bertambahnya ukuran sel). Kerusakan pada jaringan insang terus bertambah menjadi tingkat yang lebih parah ditandai dengan adanya nekrosis (kematian sel).

Tingkat kerusakan tersebut merupakan tahap akhir degenerasi yang bersifat irreversibel dan akan terjadi ketika konsentrasi Cd semakin meningkat di dalam organ ikan, sehingga hal tersebut dikategorikan dalam kerusakan kronis (Sandra *et al.*, 2021). Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian Sani *et al.* (2020), bahwa tingkat kerusakan histologi organ ginjal ikan mas yang terpapar limbah cair yaitu sedang hingga berat. Jenis kerusakan yang ditemukan adalah hipertropi hingga nekrosis. Terjadinya kerusakan pada organ ginjal ikan mas disebabkan

karena logam berat yang masuk ke dalam tubuh ikan tidak mengalami regulasi namun terakumulasi di dalam tubuh.

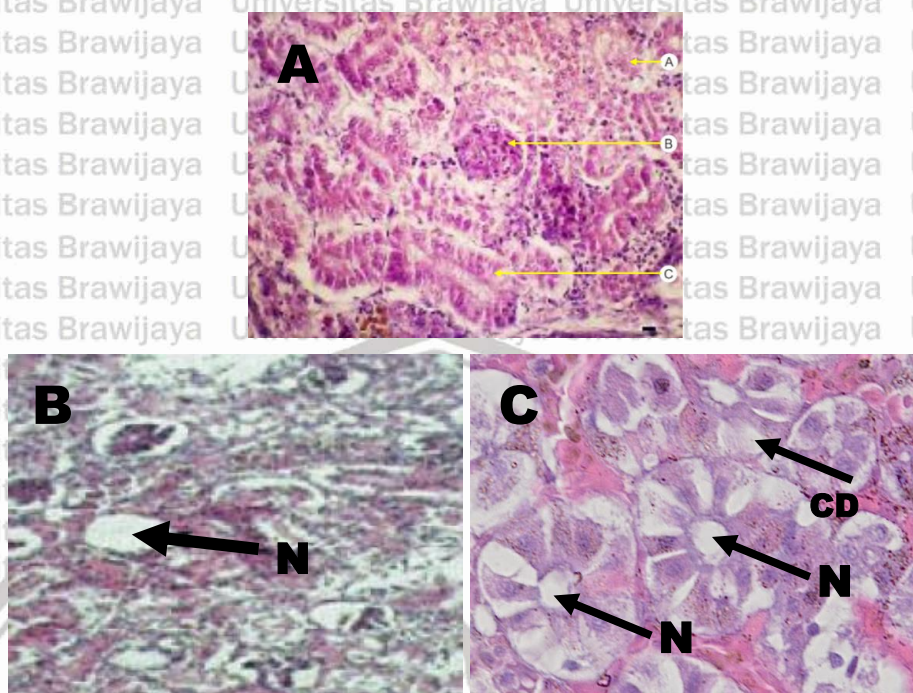
Ginjal menjadi salah satu organ utama yang terkena kontaminasi air yang tercemar. Jenis kerusakan yang ditemukan pada organ ginjal akibat paparan logam berat meliputi degenerasi, kongesti dan nekrosis. Hasil penelitian tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hadi dan Alwan (2012), dimana telah ditemukan perubahan histopatologi pada organ ginjal akibat paparan aluminium. Kerusakan tersebut meliputi kerusakan pada sel darah, bentuk tubulus ginjal yang tidak teratur, terjadinya degenerasi sel. Tahap awal kerusakan yaitu degenerasi sel yang kemudian dapat menyebabkan terjadinya nekrosis.

Fungsi ginjal yaitu memfiltrasi dan mensekresi bahan-bahan yang tidak dibutuhkan oleh tubuh ikan seperti logam berat. Oleh karena itu, ginjal seringkali mengalami kerusakan secara histologis akibat dari paparan bahan-bahan toksik (Kalaiyarasi *et al.*, (2017). Pencemaran logam berat dan buruknya kualitas air dapat menyebabkan terjadinya perubahan pada tubulus dan glomerulus (Thophon *et al.*, 2003).

### **1. Nekrosis**

Paparan berbagai jenis logam berat dengan konsentrasi tinggi pada ikan dapat menyebabkan hilangnya fungsi ginjal secara kronis hingga banyak sel yang mengalami nekrosis. Nekrosis menggambarkan keadaan dimana terjadinya penurunan aktivitas jaringan yang ditandai dengan hilangnya beberapa bagian sel (Sandra *et al.*, 2021). Menurut Widyaningrum dan Suharyanti (2011), penyebab terjadinya nekrosis pada jaringan ginjal ikan yaitu agen-agen biologis (bakteri, virus, parasit dan jamur), agen-agen kimia (bahan toksik), peningkatan suhu dan gangguan terhadap penyediaan darah. Hasil pengamatan histologi jaringan ginjal

ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400x dapat dilihat pada Gambar 48.



**Gambar 48.** Histologi ginjal ikan nila normal perbesaran 400x (A) (Apriliani dan Luthfi, 2017) ; Kerusakan nekrosis perbesaran 400x (B) (Ibrahim, 2013) ; Dokumentasi pribadi, 2021 perbesaran 400x (C)

Berdasarkan gambar (A) yaitu struktur jaringan ginjal ikan nila normal masih terlihat jelas bagian tubulus distal (A), glomerulus (B) dan tubulus proksimal (C).

Gambar (B) menunjukkan terjadinya kerusakan nekrosis berdasarkan referensi dan pada gambar (C) adalah hasil pengamatan pada struktur organ ginjal ikan nila

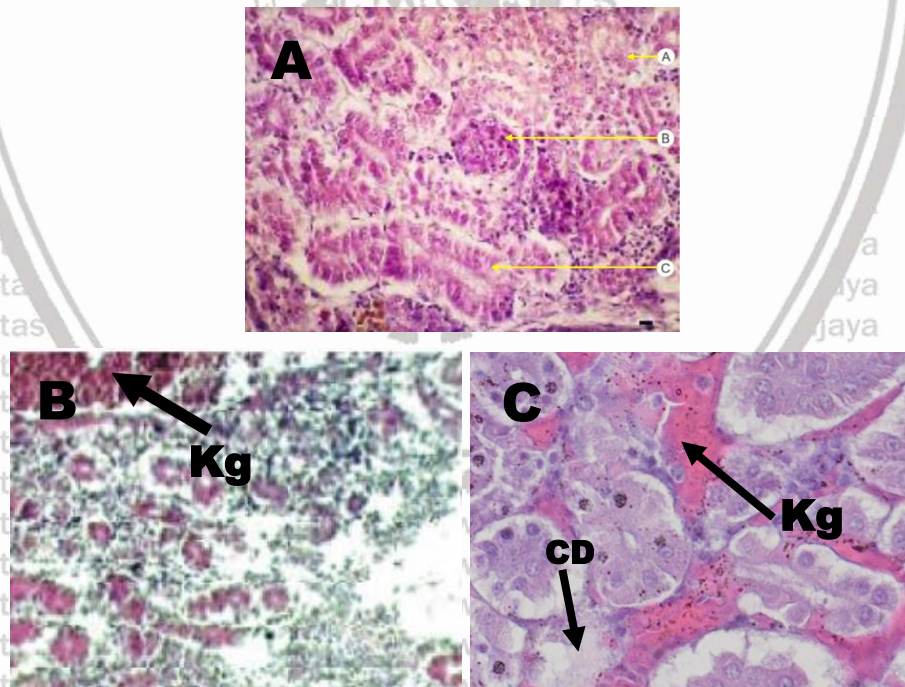
di Hilir Sungai Rejoso yang telah terpapar logam berat Cd didapatkan jenis kerusakan berupa nekrosis (N). Selain kerusakan nekrosis, ditemukan jenis kerusakan lain yaitu degenerasi seluler (CD) pada jaringan ginjal ikan nila (Gambar

48C). Analisis kerusakan nekrosis pada ginjal ikan nila dilakukan dengan perhitungan skoring dimana jumlah sel yang dianalisis sebanyak 300 sel dengan 5 bidang pandang. Hasil perhitungan didapatkan jumlah kerusakan nekrosis

berkisar antara 39.44-62.11 %. Menurut Wolf *et al.* (2015), persentase tersebut termasuk kategori rusak ringan-sedang.

## 2. Kongesti

Kongesti merupakan pembendungan darah dimana meningkatnya volume darah dalam pembuluh darah (Ramesh *et al.*, 2018). Menurut Kaur *et al.* (2018), terjadinya kerusakan kongesti dapat disebabkan karena adanya parasit atau gangguan dari sistem peredaran darah. Kongesti diawali dengan adanya pembengkakan sel karena meningkatnya kandungan air di dalam sel sehingga sel tidak mampu mempertahankan homeostasis ion. Selanjutnya terjadi perpindahan cairan dari luar ke dalam sel, kemudian sel membengkak yang menyebabkan aliran darah terganggu dan mengakibatkan terjadinya pembendungan darah. Hasil pengamatan histologi jaringan ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400x dapat dilihat pada Gambar 49.



**Gambar 49.** Histologi ginjal ikan nila normal perbesaran 400x (A) (Apriliani dan Luthfi, 2017) ; Kerusakan kongesti perbesaran 400x (B) (Ibrahim, 2013) ; Dokumentasi pribadi, 2021 perbesaran 400x (C)

Berdasarkan gambar (A) yaitu struktur jaringan ginjal ikan nila normal masih terlihat jelas bagian tubulus distal (A), glomerulus (B) dan tubulus proksimal (C).

Gambar (B) menunjukkan terjadinya kerusakan kongesti berdasarkan referensi dan pada gambar (C) yaitu hasil pengamatan pada struktur organ ginjal ikan nila

di Hilir Sungai Rejoso yang telah terpapar logam berat Cd didapatkan jenis kerusakan berupa kongesti (Kg). Selain kerusakan kongesti, ditemukan jenis

kerusakan lain yaitu degenerasi seluler (CD) pada jaringan ginjal ikan nila (Gambar 49C).

Analisis kerusakan kongesti pada ginjal ikan nila dilakukan dengan perhitungan skoring dimana jumlah sel yang dianalisis sebanyak 300 sel dengan

5 bidang pandang. Hasil perhitungan didapatkan jumlah kerusakan kongesti berkisar antara 56.78-70.59 %.

Menurut Wolf *et al.* (2015), persentase tersebut termasuk kategori rusak sedang.

### 3. Degenerasi sel

Degenerasi sel menjadi kerusakan yang sering terjadi pada jaringan ginjal akibat dari paparan zat toksik. Degenerasi sel merupakan kelainan akibat adanya

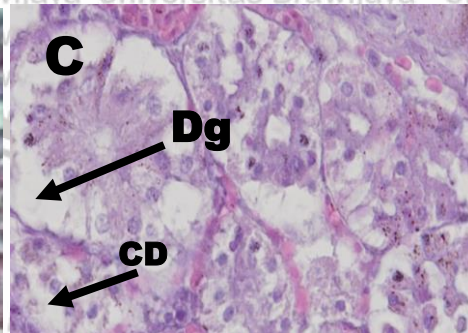
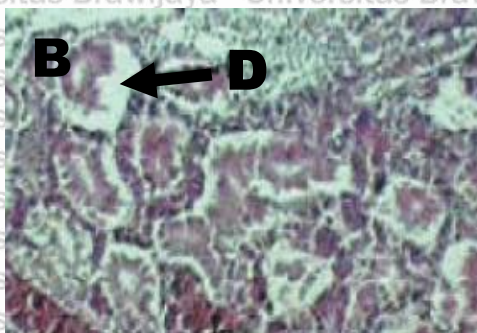
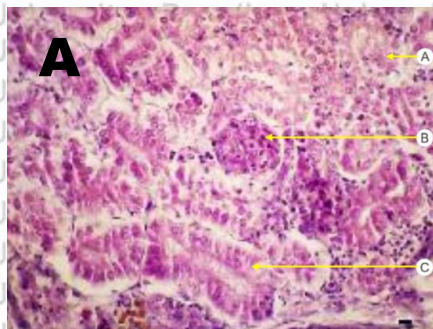
ruang kosong yang ditandai dengan adanya pembengkakan epitel tubulus (Ibrahim, 2013). Pernyataan tersebut sejalan dengan pendapat Maftuch *et al.*

(2018), bahwa degenerasi pada jaringan organ ditandai dengan adanya pembengkakan epitel tubulus yang kemudian dapat terjadinya kerusakan nekrosis

atau kematian sel. Sumber kerusakan degenerasi sel yaitu dapat disebabkan karena kekurangan oksigen, kekurangan nutrisi, infeksi sel, respon imun, faktor

fisik dan kimia. Hasil pengamatan histologi jaringan ginjal ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400x dapat dilihat pada

Gambar 50.



**Gambar 50.** Histologi ginjal ikan nila normal perbesaran 400x (A) (Apriliani dan Luthfi, 2017) ; Kerusakan degenerasi perbesaran 400x (B) (Ibrahim, 2013) ; Dokumentasi pribadi, 2021 perbesaran 400x (C)

Berdasarkan gambar (A) yaitu struktur jaringan ginjal ikan nila normal masih terlihat jelas bagian tubulus distal (A), glomerulus (B) dan tubulus proksimal (C).

Gambar (B) menunjukkan terjadinya kerusakan degenerasi berdasarkan referensi dan pada gambar (C) adalah hasil pengamatan pada struktur organ ginjal ikan nila di Hilir Sungai Rejoso yang telah terpapar logam berat Cd didapatkan jenis kerusakan berupa degenerasi (Dg). Selain kerusakan degenerasi, ditemukan jenis kerusakan lain yaitu degenerasi seluler (CD) pada jaringan ginjal ikan nila (Gambar 50C). Analisis kerusakan degenerasi pada ginjal ikan nila dilakukan dengan perhitungan skoring dimana jumlah sel yang dianalisis sebanyak 300 sel dengan 5 bidang pandang. Hasil perhitungan didapatkan jumlah kerusakan degenerasi berkisar antara 70.78-79.00 %. Menurut Wolf *et al.* (2015), persentase tersebut termasuk kategori rusak sedang-parah.

### 5.6.2.3 Organ Hati

Hasil pengamatan histologi pada organ hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dari ketiga stasiun selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 12.

**Tabel 10.** Kerusakan jaringan pada organ hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

Lokasi	Kerusakan			Average (%)	Status Kerusakan
	Nekrosis	Degenerasi	Kongesti		
Stasiun 1	76.22	76.11	69.00	73.78	Sedang
Stasiun 2	70.22	72.78	63.00	68.67	Sedang
Stasiun 3	78.22	78.11	66.00	74.11	Sedang

Berdasarkan hasil pengamatan kerusakan jaringan pada organ hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada ketiga stasiun selama penelitian bulan April-September 2021 yaitu berkisar 68.67-74.11 % dengan status kerusakan sedang. Kerusakan tertinggi terdapat pada stasiun 3 dengan nilai rata-rata sebesar 74.11 %. Hal tersebut dikarenakan kadar cd tertinggi pada organ hati terdapat pada stasiun 3. Besarnya kerusakan hati yang dialami sebesar  $50 \leq P < 75\%$  menunjukkan bahwa kondisi struktur hati berada pada keadaan rusak sedang. Kerusakan pada organ ginjal ikan nila diawali dengan kerusakan tingkat ringan atau degeneratif, yaitu ditandai dengan adanya kerusakan degenerasi (bertambahnya ukuran sel). Kerusakan pada jaringan insang terus bertambah menjadi tingkat yang lebih parah ditandai dengan adanya nekrosis (kematian sel).

Tingkat kerusakan tersebut merupakan tahap akhir degenerasi yang bersifat irreversibel dan akan terjadi ketika konsentrasi Cd semakin meningkat di dalam organ ikan, sehingga hal tersebut dikategorikan dalam kerusakan kronis (Sandra *et al.*, 2021). Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian Lubis *et al.* (2014), bahwa tingkat kerusakan histologi organ hati ikan asang di Danau Singkarak telah mencapai tingkat II yaitu kerusakan sedang dan tingkat III yaitu rusak parah di Danau Maninjau. Perubahan histologi yang ditemukan yaitu hipertrofi, lisis hingga

nekrosis. Terjadinya kerusakan nekrosis diduga karena konsentrasi zat toksik yang masuk ke dalam tubuh organisme secara terus-menerus hingga menyebabkan terjadinya penurunan pada fungsi sel hati sebagai pusat pengendali sel.

Hati merupakan organ yang mudah terkena efek toksik karena banyak berhubungan dengan senyawa kimia (Zulfahmi *et al.*, (2017). Meningkatnya toksisitas atau logam berat di perairan yang kemudian masuk ke dalam hati ikan dapat menurunkan kemampuan hati dalam mengeliminasi zat toksik. Oleh karena itu organ hati sangat rentan terhadap pengaruh zat kimia dan sering mengalami kerusakan serta kelainan pada strukturnya (Jannah *et al.*, (2017). Menurut (Zulfahmi *et al.*, 2021), semakin tingginya konsentrasi bahan polutan yang masuk ke dalam organ hati maka akan semakin meningkatnya proses vakuolisasi pada sel hati yang akan menyebabkan terjadinya nekrosis pada inti sel hati.

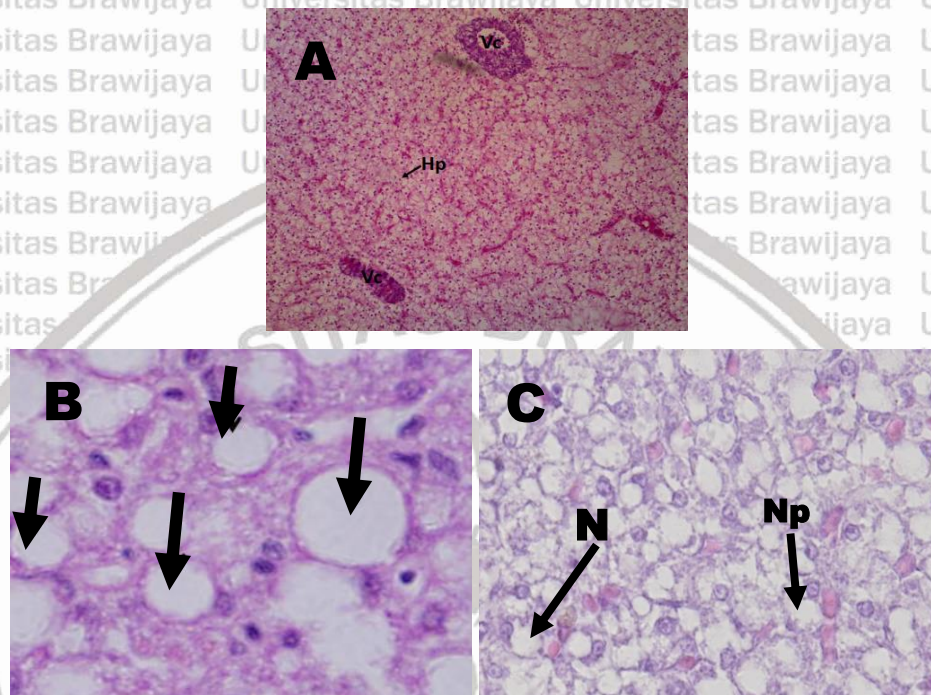
Tingkat kerusakan pada organ hati dapat dikategorikan menjadi tiga, yaitu tingkat ringan, sedang dan berat. Tingkat ringan yaitu degenerasi atau pembengkakan sel, tingkat sedang yaitu kongesti dan hemoragi dan tingkat berat yaitu nekrosis (Darmono, 1995). Berdasarkan hasil penelitian Maghrabi (2016), bahwa jenis kerusakan pada hati ikan *Epinephelus spp* di Laut Merah yaitu vakuola, kongesti, nekrosis, hemoragi dan sinusoid.

### 1. Nekrosis

Nekrosis adalah kematian sel hati. Kerusakan nekrosis pada organ hati merupakan tahap lanjutan dari degenerasi sel. Kematian sel atau nekrosis terjadi bersamaan dengan pecahnya membran plasma. Hal tersebut disebabkan karena lemak telah tertimbun dalam jumlah yang cukup banyak sehingga mengakibatkan kematian sel-sel hati. Munculnya kerusakan nekrosis pada hati diawali dengan terjadinya reaksi peradangan hati berupa pembengkakan hepatosit dan kematian



jaringan (Jannah *et al.*, (2017)). Menurut Arimbi *et al.* (2017), kerusakan nekrosis pada jaringan hati ikan dapat ditandai dengan adanya piknosis. Piknosis sendiri dapat ditandai dengan adanya pengerutan ukuran sel. Hasil pengamatan histologi jaringan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400x dapat dilihat pada Gambar 51.



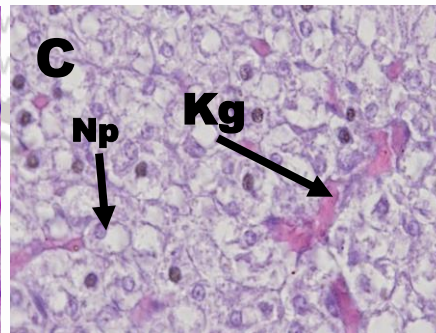
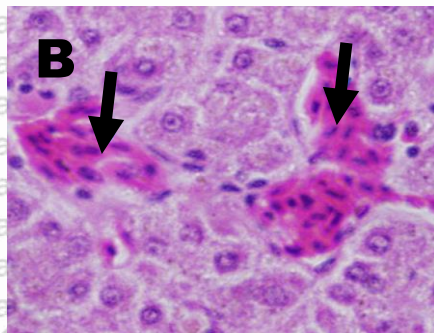
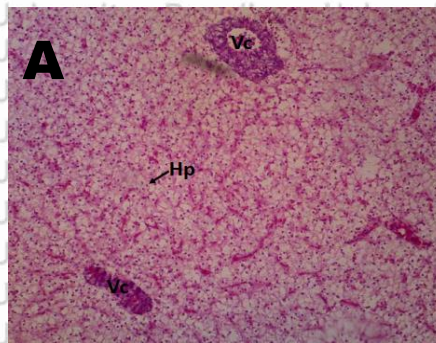
**Gambar 51.** Histologi hati ikan nila normal perbesaran 400x (A) (Zulfahmi *et al.*, (2017) ; Kerusakan nekrosis perbesaran 1000x (B) (Younis *et al.*, 2013) ; Dokumentasi pribadi, 2021 perbesaran 400x (C)

Berdasarkan gambar (A) yaitu struktur jaringan hati ikan nila normal masih terlihat jelas bagian sel hati (Hp) dan vena centralis (Vc). Gambar (B) menunjukkan terjadinya kerusakan nekrosis berdasarkan referensi dan pada gambar (C) adalah hasil pengamatan pada struktur organ hati ikan nila di Hilir Sungai Rejoso yang telah terpapar logam berat Cd didapatkan jenis kerusakan berupa nekrosis (N). Selain kerusakan nekrosis, ditemukan kerusakan lain yaitu nukleus piknosis (Pk) pada jaringan hati ikan nila (Gambar 53C). Analisis kerusakan nekrosis pada hati ikan nila dilakukan dengan perhitungan skoring dimana jumlah sel yang dianalisis

sebanyak 300 sel dengan 5 bidang pandang. Hasil perhitungan didapatkan jumlah kerusakan nekrosis berkisar antara 70.22-78.22%. Menurut Wolf *et al.* (2015), persentase tersebut termasuk kategori rusak sedang-parah.

## 2. Kongesti

Kongesti merupakan keadaan meningkatnya volume darah di dalam pembuluh darah yang melebar pada suatu bagian tubuh yang diakibatkan trauma fisik karena adanya gangguan sistem peredaran atau adanya parasite (Hadi dan Alwan, 2012). Menurut Royan *et al.* (2014), terjadinya kongesti dapat disebabkan karena reaksi peradangan dan kerusakan pada bagian organ. Reaksi peradangan dapat mengakibatkan pembuluh darah mengalami penyempitan yang dapat menyebabkan aliran darah menjadi cepat serta terjadi peningkatan jumlah darah dalam pembuluh darah. Hal tersebut akan menyebabkan kapiler darah melebar dan sinusoid di hati serta vena sentralis terisi banyak sel darah merah. Hasil pengamatan histologi jaringan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400x dapat dilihat pada Gambar 52.



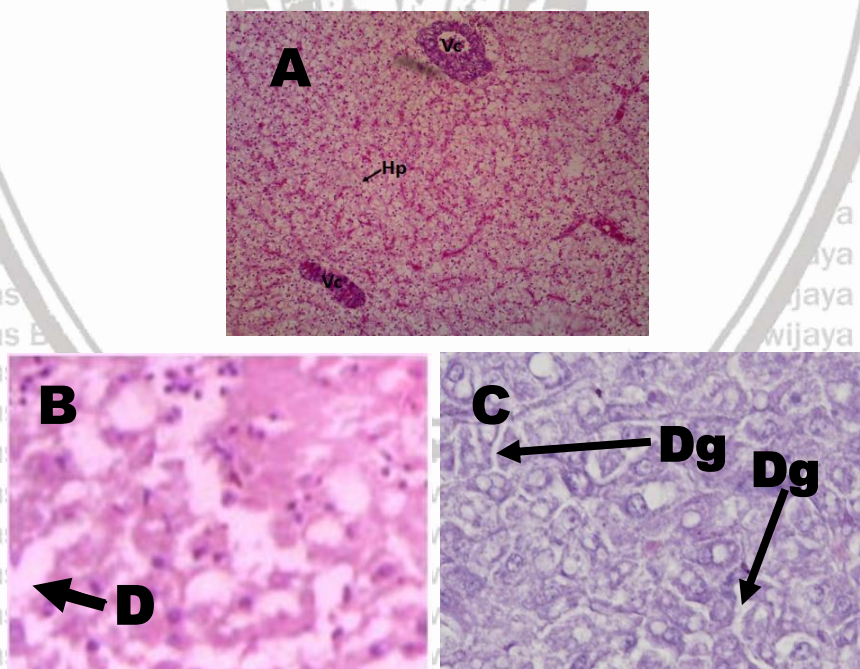
**Gambar 52.** Histologi hati ikan nila normal perbesaran 400x (A) (Zulfahmi *et al.*, (2017) ; Kerusakan kongesti perbesaran 1000x (B) (Younis *et al.*, 2013) ; Dokumentasi pribadi, 2021 perbesaran 400x (C)

Berdasarkan gambar (A) yaitu struktur jaringan hati ikan nila normal masih terlihat jelas bagian sel hati (Hp) dan vena centralis (Vc). Gambar (B) menunjukkan terjadinya kerusakan kongesti berdasarkan referensi dan pada gambar (C) adalah hasil pengamatan pada struktur organ hati ikan nila di Hilir Sungai Rejoso yang telah terpapar logam berat Cd didapatkan jenis kerusakan berupa kongesti (Kg).

Selain kerusakan kongesti, ditemukan kerusakan lain yaitu nukleus piknosis (Pk) pada jaringan hati ikan nila (Gambar 52C). Analisis kerusakan kongesti pada hati ikan nila dilakukan dengan perhitungan skoring dimana jumlah sel yang dianalisis sebanyak 300 sel dengan 5 bidang pandang. Hasil perhitungan didapatkan jumlah kerusakan kongesti berkisar antara 63.00-69.00%. Menurut Wolf *et al.* (2015), persentase tersebut termasuk kategori rusak sedang.

### 3. Degenerasi sel

Degenerasi sel merupakan salah satu kerusakan pada jaringan hati Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang diakibatkan oleh adanya paparan logam berat Cd pada organ hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Degenerasi sel atau pembengkakan sel merupakan tanda awal kerusakan pada organ hati yang diakibatkan karena adanya pengaruh bahan pencemar. Kerusakan ini sifatnya sementara (reversibel) dan sel dapat kembali normal jika paparan bahan pencemar berkurang atau dihentikan (Jannah *et al.*, (2017). Semakin meningkatnya konsentrasi bahan pencemar yang masuk ke dalam tubuh organisme maka respon toksik yang dihasilkan juga akan semakin besar. Degenerasi sel dapat ditandai dengan adanya gangguan metabolis (Fahrimal *et al.*, 2016). Hasil pengamatan histologi jaringan hati ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400x dapat dilihat pada Gambar 53.



**Gambar 53.** Histologi hati ikan nila normal perbesaran 400x (A) (Zulfahmi *et al.*, (2017) ; Kerusakan degenerasi perbesaran 400x (B) (Kaoud *et al.*, 2012) ; Dokumentasi pribadi, 2021 perbesaran 400x (C)

Berdasarkan gambar (A) yaitu struktur jaringan hati ikan nila normal masih terlihat jelas bagian sel hati (Hp) dan vena centralis (Vc). Gambar (B) menunjukkan terjadinya kerusakan degenerasi berdasarkan referensi dan pada gambar (C) yaitu hasil pengamatan pada struktur organ hati ikan nila di Hilir Sungai Rejoso yang telah terpapar logam berat Cd didapatkan jenis kerusakan berupa degenerasi sel (Dg). Analisis kerusakan nekrosis pada hati ikan nila dilakukan dengan perhitungan skoring dimana jumlah sel yang dianalisis sebanyak 300 sel dengan 5 bidang pandang. Hasil perhitungan didapatkan jumlah kerusakan nekrosis berkisar antara 72.78-78.11 %. Menurut Wolf *et al.* (2015), persentase tersebut termasuk kategori rusak sedang-parah.

## 5.7 Analisis Data

### 5.7.1 Uji Regresi dan Korelasi

Data hasil penelitian parameter hematologi, mikronuklei dan histologi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dari Hilir Sungai Rejoso Pasuruan diuji secara statistik dengan menggunakan uji regresi linier sederhana dengan menggunakan selang kepercayaan 95%. Analisis data dilakukan dengan menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistic 20. Analisis data dengan uji regresi linier dilakukan untuk mengetahui hubungan antara parameter kualitas air yang telah melebihi baku mutu menurut PP 22 tahun 2021 (TSS, TOM, Alkalinitas dan Kadmium) sebagai variabel bebas atau independen (X) dengan nilai parameter hematologi, mikronuklei dan histologi ikan nila (*Oreochromis niloticus*) sebagai variabel terikat atau dependen (Y).

Setelah dilakukan uji regresi linier tersebut didapatkan hasil yaitu nilai signifikansi (Sig.), koefisien korelasi (R) dan persamaan regresi linier. Nilai signifikansi yang  $<0.05$  maka variabel bebas (X) berpengaruh terhadap variabel terikat (Y), sedangkan apabila nilai signifikansi  $>0.05$  maka variabel bebas (X) tidak

berpengaruh terhadap variabel terikat (Y). Selanjutnya, nilai koefisien korelasi (R) menunjukkan kekuatan hubungan antara kedua variabel tersebut. Model regresi linier sederhana dapat ditulis dengan menggunakan persamaan yaitu  $Y=a+bx$ , dimana Y = variabel terikat, a = konstanta, b = koefisien variabel bebas dan x = variabel bebas.

Menurut Sugiyono (2009), jika interval nilai koefisien korelasi bernilai 0.000-0.199 artinya tidak ada korelasi, jika bernilai 0.200-0.399 maka memiliki korelasi lemah, jika bernilai 0.400-0.599 maka korelasi sedang, jika bernilai 0.600-0.99 maka korelasi kuat dan jika bernilai 1 maka korelasi sempurna. Selanjutnya, apabila nilai korelasi positif (+), maka hubungan variabel X dan variabel Y berbanding lurus, namun jika nilai korelasi negatif (-), maka hubungan antara variabel X dan variabel Y berbanding terbalik. Hasil uji regresi hematologi dan histologi dapat dilihat pada Lampiran

### 5.7.1.1 Uji Regresi Linier Parameter Kualitas Air dan Hematologi

#### 1. Analisis Data Kualitas Air dengan Sel Darah Merah

Hasil analisa data parameter kualitas air (TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd) dengan sel darah merah (Eritrosit) dengan menggunakan uji regresi linier dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 11.** Uji regresi antara parameter kualitas air dengan sel darah merah (eritrosit)

Parameter	Sig.	Korelasi	Persamaan Regresi
TSS	0.299	-0.390	$Y=1959891.120-3607.926x$
TOM	0.021	-0.746	$Y=759759.944+12077.253x$
Alkalinitas	0.106	-0.574	$Y=5912339.075-33290.077x$
Cd	0.009	-0.805	$Y=1336973.591-335095.502x$

Berdasarkan hasil uji regresi linier didapatkan bahwa parameter TOM dan Cd berkorelasi signifikan terhadap jumlah sel darah merah (Sig.<0.05). Hasil persamaan regresi TOM menunjukkan jika nilai TOM meningkat sebesar 1 satuan



maka akan menaikkan jumlah eritrosit sebesar  $12077.253 \text{ sel/mm}^3$  dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0.746 yang artinya korelasi kuat, semakin tinggi nilai TOM di perairan sungai maka semakin tinggi jumlah eritrosit pada ikan nila. Hasil persamaan regresi Cd menunjukkan jika Cd meningkat sebesar 1 satuan maka akan menurunkan jumlah eritrosit sebesar  $335095.502 \text{ sel/mm}^3$  dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar -0.805 artinya korelasi kuat, semakin tinggi nilai Cd di perairan sungai maka akan menurunkan jumlah eritrosit ikan nila.

Tinggi rendahnya jumlah bahan organik total yang terlarut di dalam perairan dapat menyebabkan ikan stres (Fauzan *et al.*, 2017). Meningkatnya nilai TOM dalam perairan dapat menurunkan jumlah oksigen terlarut. Tubuh ikan akan mengkompensasi perubahan kekurangan oksigen dengan meningkatkan jumlah eritrosit (Bozorgnia *et al.*, 2011). Pernyataan tersebut berbanding terbalik dengan Sugito *et al.* (2014), bahwa ikan mengalami stress jika jumlah leukosit ikan menurun, sedangkan jumlah leukosit meningkat jika ikan terserang infeksi penyakit. Meningkatnya jumlah bahan organik total yang berasal dari buangan limbah industri, pertanian dan rumah tangga dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat di dalam perairan.

Logam berat Cd yang ada di perairan masuk ke dalam tubuh ikan melalui saluran pernapasan yaitu melewati insang. Logam berat tersebut akan menembus sel epitel endothelial kapiler darah dan masuk ke dalam darah. Selanjutnya, zat toksik tersebut akan terikat ke dalam aliran darah dan ikut dalam proses metabolisme (Sari *et al.*, 2016). Menurut Muliani (1999), logam berat Cd dapat menyebabkan abnormalitas pada bentuk sejumlah besar darah. Hal tersebut memungkinkan terjadinya suatu kelainan pada organ pembentuk darah.

**2. Analisis Data Kualitas Air dengan Sel Darah Putih**

Hasil analisa data parameter kualitas air (TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd) dengan sel darah putih (Leukosit) dengan menggunakan uji regresi linier dapat dilihat pada Tabel 14.

**Tabel 12.** Uji regresi antara parameter kualitas air dengan sel darah putih

Parameter	Sig.	Korelasi	Persamaan Regresi
TSS	0.221	0.453	$Y=17431.122+486.415x$
TOM	0.010	-0.799	$Y=183007.288-1634.255x$
Alkalinitas	0.043	0.682	$Y=-531118.733+4597.926x$
Cd	0.011	0.790	$Y=105158.463+38235.295x$

Berdasarkan hasil uji regresi linier didapatkan bahwa parameter TOM, alkalinitas dan Cd berkorelasi signifikan terhadap jumlah sel darah putih (Sig.<0.05). Hasil persamaan regresi TOM menunjukkan jika nilai TOM meningkat sebesar 1 satuan maka akan menurunkan jumlah leukosit sebesar 1634.255 sel/mm<sup>3</sup> dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar -0.799 yang artinya korelasi kuat, semakin tinggi nilai TOM di perairan sungai maka menurunkan jumlah leukosit pada ikan nila. Hasil persamaan regresi alkalinitas dan Cd menunjukkan jika nilai alkalinitas dan Cd meningkat sebesar 1 satuan maka akan menaikkan jumlah leukosit sebesar 4597.926 sel/mm<sup>3</sup> (alkalinitas) dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0.682 dan 38235.295 sel/mm<sup>3</sup> (Cd) dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0.790, artinya korelasi kuat, semakin tinggi nilai alkalinitas dan Cd di perairan sungai maka akan menaikkan jumlah leukosit ikan nila.

Tinggi rendahnya nilai alkalinitas dan jumlah bahan organik total yang terlarut di dalam perairan dapat menyebabkan ikan stres (Fauzan *et al.*, 2017). Menurut Sugito *et al.* (2014), bahwa ikan mengalami stress jika jumlah leukosit ikan menurun, sedangkan jumlah leukosit meningkat jika ikan terserang infeksi penyakit. Pernyataan tersebut berbanding terbalik dengan Bozorgnia *et al.* (2011),





bahwa tubuh ikan akan mengkompensasi perubahan kekurangan oksigen dengan meningkatkan jumlah eirtrosit Meningkatnya jumlah bahan organik total yang berasal dari buangan limbah industri, pertanian dan rumah tangga dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat di dalam perairan.

Logam berat Cd yang ada di perairan masuk ke dalam tubuh ikan melalui saluran pernapasan yaitu melewati insang. Logam berat tersebut akan menembus sel epitel endothelial kapiler darah dan masuk ke dalam sarah. Selanjutnya, zat toksik tersebut akan terikat ke dalam aliran darah dan ikut dalam proses metabolisme (Sari *et al.*, 2016). Menurut Muliani (1999), logam berat Cd dapat menyebabkan abnormalitas pada bentuk sejumlah besar darah. Hal tersebut memungkinkan terjadinya suatu kelainan pada organ pembentuk darah.

### 3. Analisis Data Kualitas Air dengan Hemoglobin

Hasil analisa data parameter kualitas air (TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd) dengan hemoglobin dengan menggunakan uji regresi linier dapat dilihat pada

Tabel 15.

**Tabel 13.** Uji regresi antara parameter kualitas air dengan hemoglobin

Parameter	Sig.	Korelasi	Persamaan Regresi
TSS	0.578	-0.215	$Y=9.391-0.013x$
TOM	0.002	0.878	$Y=1.734+0.125x$
Alkalinitas	0.087	-0.600	$Y=39.697-0.233x$
Cd	0.000	-0.972	$Y=7.878-2.707x$

Berdasarkan hasil uji regresi linier didapatkan bahwa parameter TOM dan Cd berkorelasi signifikan terhadap jumlah hemoglobin (Sig.<0.05). Hasil persamaan regresi TOM menunjukkan jika nilai TOM meningkat sebesar 1 satuan maka akan menaikkan jumlah hemoglobin sebesar 0.125 g% dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0.878 yang artinya korelasi kuat, semakin tinggi nilai TOM di perairan sungai maka menaikkan jumlah hemoglobin pada ikan nila. Hasil persamaan

regresi Cd menunjukkan jika nilai Cd meningkat sebesar 1 satuan maka akan menurunkan jumlah hemoglobin sebesar 0.233 g% dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar -0.972, artinya korelasi kuat, semakin tinggi nilai Cd di perairan sungai maka akan menurunkan jumlah hemoglobin ikan nila.

Tinggi rendahnya jumlah bahan organik total yang terlarut di dalam perairan dapat menyebabkan ikan stres (Fauzan *et al.*, 2017). Meningkatnya nilai TOM dalam perairan dapat menurunkan jumlah oksigen terlarut. Tubuh ikan akan mengkompensasi perubahan kekurangan oksigen dengan meningkatkan jumlah eritrosit (Bozorgnia *et al.*, 2011). Nilai hemoglobin berbanding lurus dengan eritrosit. Kemampuan mengikat oksigen dalam darah tergantung pada jumlah Hb yang terdapat dalam sel darah merah. Meningkatnya jumlah bahan organik total yang berasal dari buangan limbah industri, pertanian dan rumah tangga dapat mempengaruhi konsentrasi logam berat di dalam perairan.

Logam berat Cd yang ada di perairan masuk ke dalam tubuh ikan melalui saluran pernapasan yaitu melewati insang. Logam berat tersebut akan menembus sel epitel endothelial kapiler darah dan masuk ke dalam sarah. Selanjutnya, zat toksik tersebut akan terikat ke dalam aliran darah dan ikut dalam proses metabolisme (Sari *et al.*, 2016). Menurut Muliani (1999), logam berat Cd dapat menyebabkan abnormalitas pada bentuk sejumlah besar darah. Hal tersebut memungkinkan terjadinya suatu kelainan pada organ pembentuk darah.

#### 4. Analisis Data Kualitas Air dengan Mikronuklei

Hasil analisa data parameter kualitas air (TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd) dengan mikronuklei dengan menggunakan uji regresi linier dapat dilihat pada

Tabel 16.

**Tabel 14.** Uji regresi antara parameter kualitas air dengan mikronuklei

Parameter	Sig.	Korelasi	Persamaan Regresi
TSS	0.454	0.287	$Y=21.949+0.078x$
TOM	0.018	-0.758	$Y=48.166-0.473x$
Alkalinitas	0.005	0.838	$Y=-37.603+0.464x$
Cd	0.000	0.933	$Y=24.318+11.193x$

Berdasarkan hasil uji regresi linier didapatkan bahwa parameter TOM, alkalinitas dan Cd berkorelasi signifikan terhadap jumlah mikronuklei (Sig.<0.05).

Hasil persamaan regresi TOM menunjukkan jika nilai TOM meningkat sebesar 1 satuan maka akan menurunkan jumlah mikronuklei sebesar 0.473 sel/mm<sup>3</sup> dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar -0.758 yang artinya korelasi kuat, semakin tinggi nilai TOM di perairan sungai maka menurunkan jumlah mikronuklei pada ikan nila. Hasil persamaan regresi alkalinitas dan Cd menunjukkan jika nilai alkalinitas dan Cd meningkat sebesar 1 satuan maka akan menaikkan jumlah mikronuklei sebesar 0.464 sel/mm<sup>3</sup> (alkalinitas) dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0.838 dan 11.193 sel/mm<sup>3</sup> (Cd) dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0.933, artinya korelasi kuat, semakin tinggi nilai alkalinitas dan Cd di perairan sungai maka akan menaikkan jumlah mikronuklei ikan nila.

Berdasarkan hasil penelitian D'Costa *et al.* (2018), bahwa paparan logam berat dan pestisida organofosfat pada ikan zebra selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam dapat meningkatkan jumlah mikronuklei. Menurut Chakarov *et al.*, (2014), perubahan genetik pada sel darah dapat terjadi karena faktor endogen dan eksogen. Faktor eksogen bisa disebabkan karena akumulasi logam berat di dalam tubuh ikan dalam waktu yang lama sehingga menyebabkan kerusakan DNA.

Berdasarkan hasil uji regresi antara parameter kualitas air yang melebihi baku mutu yaitu TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd dengan parameter hematologi, dimana Cd merupakan parameter kualitas air yang paling berpengaruh pada jumlah sel darah ikan nila. Dibuktikan dengan hasil regresi yang signifikan (Sig.<0.05)

dengan korelasi yang mendekati 1 artinya hubungan antara Cd dengan parameter hematologi ikan nila sangat kuat bahkan hampir sempurna. Hasil dari pengamatan parameter hematologi menjadi pendukung dimana didapatkan penurunan jumlah eritrosit dan kadar Hb, serta terjadi peningkatan pada jumlah leukosit. Selain itu, ditemukan kelainan inti sel yaitu mikronuklei yang jumlahnya >30 sel/1000. Jumlah leukosit yang meningkat menandakan bahwa ikan mengalami stress akibat tingginya konsentrasi Cd di perairan. Hasil tersebut sejalan dengan hasil penelitian Kaoud *et al.* (2011), bahwa telah terjadi penurunan yang signifikan terhadap jumlah eritrosit dan hemoglobin pada ikan nila yang terpapar Cd dengan konsentrasi tinggi dan waktu yang lama. Kandungan Cd yang masuk ke dalam sel darah dapat menghancurkan eritrosit yang matang dan menghambat produksi eritrosit.

### 5.7.1.2 Uji Regresi Linier Parameter Kualitas Air dan Histologi

#### 1. Analisis Data Kualitas Air dengan Histologi Insang

Hasil analisa data parameter kualitas air (TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd) dengan histologi insang dengan menggunakan uji regresi linier dapat dilihat pada Tabel 17.

**Tabel 15.** Uji regresi antara parameter kualitas air dengan histologi organ insang

Parameter	Sig.	Korelasi	Persamaan Regresi
TSS	0.210	-0.462	$Y=56.691-0.052x$
TOM	0.057	-0.652	$Y=60.997-0.435x$
Alkalinitas	0.097	0.586	$Y=-22.901+0.467x$
Cd	0.026	0.728	$Y=39.603+9.488x$

Berdasarkan hasil uji regresi linier menunjukkan adanya korelasi yang signifikan (Sig.<0.05) antara parameter TOM dan Cd terhadap histologi organ insang (nekrosis, hiperplasia, kongesti) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*).



Hasil persamaan regresi TOM dan Cd menunjukkan nilai koefisien korelasi (R) memiliki korelasi yang kuat.

Meningkatnya jumlah bahan organik total di dalam perairan disebabkan karena banyaknya buangan limbah yang masuk ke dalam badan sungai. Selain itu, curah hujan yang tinggi juga dapat meningkatkan beban zat hara masuk ke dalam perairan sungai (Palimirmo *et al.*, 2016). Tingginya nilai TOM dapat menurunkan jumlah oksigen terlarut dalam perairan, sehingga dapat mengganggu fungsi insang dalam proses respirasi dan mengakibatkan terjadinya kerusakan pada jaringan insang (Susana, 2009).

Menurut Sudrajat *et al.* (2020), insang yang terus menerus terpapar logam berat Cd akan mengganggu fungsi pernapasan dan osmoregulasi. Perubahan patologis dalam insang merupakan respon adaptif dalam mencegah masuknya logam berat. Berdasarkan hasil penelitian Ravanaiah dan Murthy (2010), bahwa logam berat dapat menyebabkan terjadinya edema, hipertrofi, hiperplasia dan nekrosis pada *Tilapia mossambica*. Kerusakan yang terjadi pada jaringan insang di sebabkan karena peningkatan lendir terhadap sejumlah ion Cd yang melewati lamela sehingga menghalangi proses pertukaran gas. Pembengkakan ringan pada jaringan insang terjadi akibat masuknya logam berat sehingga mengakibatkan terakatnya epitel pipih lamela sekunder. Hal tersebut dapat mempermudah logam berat dalam air berdifusi ke dalam aliran darah. Difusi logam berat secara terus menerus melalui insang dapat memberikan dampak terhadap jaringan insang, sehingga dapat menimbulkan degradasi sel atau kerusakan insang (Fernandes *et al.*, 2007).

## 2. Analisis Data Kualitas Air dengan Histologi Ginjal

Hasil analisa data parameter kualitas air (TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd) dengan histologi ginjal dengan menggunakan uji regresi linier dapat dilihat pada

Tabel 18.

**Tabel 16.** Uji regresi antara parameter kualitas air dengan histologi organ ginjal

Parameter	Sig.	Korelasi	Persamaan Regresi
TSS	0.568	-0.221	$Y=68.269-0.057x$
TOM	0.895	0.052	$Y=62.201+0.044x$
Alkalinitas	0.701	0.150	$Y=14.174+0.348x$
Cd	0.577	0.216	$Y=61.913+3.605x$

Berdasarkan hasil uji regresi linier menunjukkan tidak adanya korelasi yang signifikan (Sig.>0.05) antara parameter TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd terhadap histologi organ ginjal (nekrosis, degenerasi, kongesti) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Berdasarkan nilai korelasi juga tidak menunjukkan adanya hubungan antara parameter kualitas air dengan kerusakan organ ginjal ikan nila.

## 3. Analisis Data Kualitas Air dengan Histologi Hati

Hasil analisa data parameter kualitas air (TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd) dengan histologi hati dengan menggunakan uji regresi linier dapat dilihat pada

Tabel 19.

**Tabel 17.** Uji regresi antara parameter kualitas air dengan histologi organ hati

Parameter	Sig.	Korelasi	Persamaan Regresi
TSS	0.097	0.587	$Y=47.007+0.113x$
TOM	0.556	0.227	$Y=68.403+0.101x$
Alkalinitas	0.825	-0.073	$Y=84.780-0.088x$
Cd	0.950	0.025	$Y=72.070+0.214x$

Berdasarkan hasil uji regresi linier menunjukkan tidak adanya korelasi yang signifikan (Sig.>0.05) antara parameter TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd terhadap histologi organ hati (nekrosis, degenerasi, kongesti) pada ikan nila (*Oreochromis*

*niloticus*). Berdasarkan nilai korelasi juga tidak menunjukkan adanya hubungan antara parameter kualitas air dengan kerusakan organ hati ikan nila.

### 5.7.1.3 Uji Regresi Linier Cd Organ dan Histologi Organ

Hasil analisa data Cd di masing-masing organ (insang, ginjal dan hati) pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) terhadap seluruh kerusakan histologi organ dengan menggunakan uji regresi linier dapat dilihat pada Tabel 20.

**Tabel 18.** Uji regresi linier Cd organ dengan total kerusakan histologi organ

Organ	Sig.	Korelasi	Persamaan Regresi
Insang	0.002	0.885	$Y=52.120+4.310x$
Ginjal	0.008	0.814	$Y=54.678+0.692x$
Hati	0.004	0.842	$Y=68.020+0.190x$

Berdasarkan hasil uji regresi antara kadar Cd pada organ insang, ginjal dan hati ikan nila dengan histologi organ insang, ginjal dan hati, dapat dikatakan bahwa semakin tinggi akumulasi logam berat di dalam tubuh ikan maka dapat menyebabkan kerusakan pada organ ikan. Dibuktikan dengan hasil regresi yang signifikan (Sig.<0.05) dengan korelasi yang mendekati 1 artinya hubungan antara Cd organ dengan kerusakan histologi organ ikan nila sangat kuat bahkan hampir sempurna. Hasil dari pengamatan setiap jenis kerusakan histologi pada ketiga organ menjadi pendukung bahwa paparan Cd yang tinggi pada organ dapat mempengaruhi kesehatan ikan nila. Tingkat kerusakan ringan pada organ ginjal dan hati ditandai dengan adanya pembengkakan ukuran sel (degenerasi), sedangkan pada organ insang disebut hiperplasia. Selanjutnya pada tingkat kerusakan sedang pada ketiga organ ditandai dengan adanya bintik-bintik darah pada pembuluh darah (kongesti) dan pada tingkat kerusakan tinggi ditandai dengan hilangnya inti sel (nekrosis).

Hasil tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Kaoud *et al.*, (2011), bahwa telah terjadi kerusakan pada jaringan organ insang, hati, limpa, otot, usus dan ginjal ikan nila akibat tingginya paparan Cd pada organ tersebut. Telah ditemukan jenis kerusakan degenerasi, kongesti dan nekrosis pada organ hati dan ginjal, serta hiperplasia pada organ insang. Kaoud mengatakan bahwa nekrosis menjadi salah satu jenis kerusakan yang sering ditemukan pada jaringan organ ikan. Hiperplasia pada insang menjadi penyebab awal sebelum terjadinya kerusakan nekrosis.

Menurut Prastyo *et al.* (2017), secara umum mekanisme masuknya logam berat ke dalam tubuh makhluk hidup dapat melalui beberapa cara, yaitu melalui membran insang (pernapasan) dan melalui rantai makanan (pencernaan), serta masuk melalui kulit dan lapisan mukosa yang akan diangkut oleh darah kemudian terakumulasi di dalam jantung maupun ginjal. Jumlah akumulasi logam berat pada tubuh ikan bisa disebabkan karena tingginya konsentrasi logam berat di perairan dan sedimen.



## BAB VI KESIMPULAN

### 6.1 Kesimpulan

1. Nilai parameter fisika (suhu, TSS, kecerahan dan kecepatan arus) dan parameter kimia (pH, DO, COD, TOM, nitrat, ortofosfat, alkalinitas dan Cd) yang didapatkan selama penelitian di Hilir Sungai Rejoso, dimana nilai yang melebihi baku mutu menurut PP 22 tahun 2021 Kelas III yaitu parameter TSS, TOM, Alkalinitas dan Cd. Hasil skoring dengan menggunakan metode STORET dalam menentukan status pencemaran perairan Hilir Sungai Rejoso pada stasiun 1, 2 dan 3 yaitu jumlah skor sebesar -66. Skor tersebut menunjukkan bahwa wilayah Hilir Sungai Rejoso termasuk kategori buruk dengan status pencemaran yaitu tercemar berat.
2. Hasil penelitian pada kesehatan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di Hilir Sungai Rejoso, dapat dikategorikan bahwa ikan tersebut kurang sehat. Status kesehatan ikan tersebut dapat dilihat dari jumlah eritrosit sebesar  $936.667 - 1.476.667 \text{ sel/mm}^3$ , jumlah leukosit sebesar  $97.917 - 156.267 \text{ sel/mm}^3$ , kadar hemoglobin sebesar  $4.3 - 7.9 \text{ g\%}$  dan jumlah mikronuklei sebesar  $21 - 40 \text{ sel/1000}$ . Total kerusakan histologi organ insang pada ketiga stasiun masing-masing yaitu  $68.70\%$ ,  $63.26\%$ ,  $67.67\%$  dengan status kerusakan sedang. Total kerusakan histologi organ ginjal pada ketiga stasiun masing-masing yaitu  $66.70\%$ ,  $55.67\%$ ,  $70.57\%$  dengan status kerusakan sedang. Total kerusakan histologi organ hati pada ketiga stasiun masing-masing yaitu  $73.78\%$ ,  $68.67\%$ ,  $74.11\%$  dengan status kerusakan sedang.
3. Analisis data menggunakan uji regresi linier antara parameter kualitas air yang melebihi baku mutu dengan parameter hematologi didapatkan bahwa hasil TSS tidak berpengaruh dengan parameter hematologi ( $\text{Sig.} > 0.05$ ), parameter

TOM, Alkalinitas dan Cd berpengaruh signifikan terhadap jumlah leukosit dan mikronuklei (Sig.<0.05) dengan korelasi kuat kuat, parameter TOM dan Cd berpengaruh signifikan terhadap jumlah eritrosit dan kadar hemoglobin.

Analisis data menggunakan uji regresi linier antara parameter kualitas air yang melebihi baku mutu dengan histologi organ insang, ginjal dan hati ikan nila didapatkan bahwa hanya TOM dan Cd yang berpengaruh signifikan (Sig.<0.05) terhadap histologi organ insang, sedangkan parameter yang lain tidak berpengaruh dengan histologi organ ginjal dan hati. Analisis data menggunakan uji regresi linier antara kadar Cd pada organ dengan histologi organ berpengaruh signifikan (Sig.<0.05) dengan korelasi kuat.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan mengenai penentuan status pencemaran perairan di Hilir Sungai Rejoso yang berstatus tercemar berat dan didukung dengan status kesehatan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yaitu ikan kurang sehat, sehingga perlu dihimbau kepada pemerintah, masyarakat dan pemilik industri terutama yang tinggal dan letaknya berada di sekitar aliran Sungai Rejoso untuk tidak secara langsung membuang hasil limbah apapun ke dalam badan sungai. Perlu adanya pengelolaan limbah dengan baik agar limbah tidak mencemari sungai. Perlu dihimbau juga kepada masyarakat sekitar untuk lebih berhati-hati dalam mengkonsumsi ikan nila yang ditangkap dari Sungai Rejoso karena kandungan logam berat Cd pada ikan tinggi. Lebih disarankan untuk mengkonsumsi ikan nila dari hasil budidaya yang lebih terkontrol namun tetap berhati-hati.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustiningsih, D. (2012). Kajian Kualitas Sungai Blukar Kabupaten Kendal dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Sungai.
- Agustira, R., Lubis, K. S., & Jamilah. (2013). Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air dan Debit Sungai pada Kawasan DAS Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka. *Jurnal Agroekoteknologi*, 1(3), 615–625.
- Aisyah, S., & Nomosatryo, S. (2016). Distribusi Spasial dan Temporal Nutrien di Danau Tempe, Sulawesi Selatan. *Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia*, 1(2), 31–45.
- Akhrianti, I., Bengen, D. G., & Setyobudiandi, I. (2014). Spatial Distribution and Habitat Preference of Bivalvia in the Coastal Waters of Simpang Pesak Sub District, East Belitung District. *Journal of Tropical Marine Science and Technology*, 6(1), 171–186.
- Akmal, M. Y., Y., Zulfahmi, I., Juanda, R., Karja, N. W. ., & Nisa, C. (2018). Histopathological Changes in Gill of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) After Palm Oil Mill Effluent Exposure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 216(1), 1–5.
- Akpakpan, E. I., Akpanyung, E. O., Anazodo, N. O., & Ekanemesang, U. M. (2014). Biomarkers of Oxidative Stress and Histopathological Studies in Fish from Ibaka and Ifiyong Rivers, Akwa Ibom State, Nigeria. *World Applied Sciences Journal*, 32(7), 1209–1218.
- Aksari, Y. D., Perwitasari, D., & Butet, N. A. (2015). Kandungan Logam Berat (Cd, Hg dan Pb) pada Ikan Sapu-sapu, *Pterygoplichthys pardalis* (Castenau, 1855) di Sungai Ciliwung. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 15(3), 257–266.
- Alamanda, I. E., Handajani, N. S., & Budihardjo, A. (2007). Penggunaan Metode Hematologi dan Pengamatan Endoparasit Darah untuk Penetapan Kesehatan Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) di Kolam Budidaya Desa Mangkubumen Boyolali. *Blodiversitas*, 8(1), 34–39.
- Amalia, W. R., Halang, B., & Naparin, A. (2016). Kandungan Kadmium ( Cd ) Pada Air , Daging serta Mikroanatomi Insang Ikan Kelabau (*Osteochillus melanopleurus*) Di Muara Sungai Martapura. *Prosiding Seminar Nasional*, 89–92.
- Andayani, S., Suprastyani, H., & Masfiah, I. (2018). Pengaruh Pemberian Ekstrak Kasar Kulit Naga (*Hylocereus costaricensis*) terhadap Histopatologi Hati ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang terinfeksi *Aeromonas hydrophil*. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 2(3), 149–159.
- Andria, A. F., & Rahmaningsih, S. (2018). Technical Study of Abiotic Factors in Clay Embankment Used at PT. Semen Indonesia Tbk. for Utilization of Fish Cultivation with KJA Technology. *Scientific Journal of Fisheries and Marine*,

10(2), 95–105.

Anggraini, A. F., Primyastanto, M., & Utami, T. N. (2016). The Industrial Development of PT. Phillips Seafood Indonesia Pasuruan to Fulfill Basic Material Basic Material of Crab (*Portunus pelagicus*). *Economic and Social of Fisheries and Marine*, **04**(01), 105–112.

Anhwange, B.A., Agbaji, B., E., Gimba, & E.C. (2012). Impact assessment of human activities and seasonal variation on River Benue, within Makurdi Metropolis. *International Journal of Science and Technology*, **2**(5), 248–254.

Apriliani, N. S., & Luthfi, M. J. (2017). Comparative Anatomy and Histology of Black Pomfret (*Formio niger*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) Kidney. *Biology, Medicine, & Natural Product Chemistry*, **6**(1), 9–12.

Aprilliyani, E. P. (2020). Keanekaragaman Spesies Ikan sebagai Bioindikator Kualitas Perairan di Sungai Kaligarang Kota Semarang. Universitas Negeri Semarang.

Apsari, E. R. P., & Sutedjo, A. (2012). Studi Kesesuaian Sungai Ngunut di Kawasan Wisata Growgoland Water Fun Dander Kabupaten Bojonegoro. **01**(1), 1–8.

Ariatin, S. W., Suryanto, A., & Muskananfolo, M. R. (2013). Analisis Sebaran Klorofil Dan Kualitas Air Di Ekosistem Sekitar Pt. Kayu Lapis Indonesia (Pantai, Muara, Tambak) Kaliwungu Kendal. **2**, 110–117.

Arimbi, A., Hastutiek, P., & Meidiza, R. (2017). Gambaran Patologi Hepar Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) yang Diinfeksi Bakteri Edwardsiella tarda [Featuring Liver Pathology of *Clarias gariepinus* Infected By Edwardsiella tarda]. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, **9**(1), 47-56.

Arini, D. I., Prasetyo, L. B., & Rusdiana, O. (2007). Application of Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing for ANSWERS Hydrological Model in Predicting Erosion and Sedimentation. Case Study: Cipopokol Water Cathment Area, Cisadane Hulu Sub Watershed, Bogor District. *Journal Conservation Media*, **12**(2), 67–76.

Arizuna, M., Suprpto, D., & Muskananfolo, M. R. (2014). Kandungan Nitrat dan Fosfat dalam Air Pori Sedimen di Sungai dan Muara Sungai Wedung Demak. *Diponegoro Journal of Maquares. Management of Aquatic Resources*, **3**(1), 7–16.

Asrini, N. K., Sandi, I. W., & Rai, I. N. (2017). Studi Analisis Kualitas Air di Daerah Aliran Sungai Pakerisan Provinsi Bali. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, **11**(2), 101–107.

Astari, T. R., Pramana, A., & Syaifudin, M. (2015). Efek Paparan Sinar-X Terhadap Frekuensi Mikronukleus Sel Limfosit Dan Pemanfaatannya Untuk Pengembangan Dosimeter Biologi. *Jurnal Biotropika*, **3**(2), 65–69.

Aziz, A., Wulandari, S. Y., & Maslukah, L. (2014). Sebaran Konsentrasi Ortofosfat di Lapisan Permukaan Perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara

- Pengembangan dan Estuari Perancak, Bali.. *Jurnal Oseanografi*, **3**(4), 713–721.
- Bangsa, P. C., Daud, R., & Asmilia, N. (2015). Pengaruh Suhu terhadap Jumlah Eritrosit Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Medika Veterinaria*, **9**(1): 9–11.
- Barus, B. S. (2017). Analysis of Heavy Metal Cadmium (Cd) and Mercury (Hg) in Water and Sediment at Banyuasin Estuary. *Maspari Journal*, **9**(1), 69–76.
- Berillis, P., Mente, E., Nikouli, E., Makridis, P., Grundvig, H., Bergheim, A., & Gausen, M. (2016) Improving Aeration for Efficient Oxygenation in Sea Bass Sea Cages. Blood, Brain and Gill Histology. *Open Life Sciences*, **11**, 270-279.
- Beveridge, M. (2004). *Cage Aquaculture, 3rd Edition*.
- Bhagawati, B., & Amurwanto, M. A. (2013). Fauna Ikan Siluformes dari Sungai Serayu, Banjarn dan Tajum di Kabupaten Banyumas. *Jurnal MIPA*, **36**(2), 112–122.
- Bhattacharya, H., Xiao, Q., & Lun, L. (2008). Toxicity studies of nonylphenol on rosy barb (*Puntius conchonious*): A biochemical and histopathological evaluation. *Tissue and Cell*, **40**(4), 243–249.
- Bintoro, A., & Abidin, D. M. (2013). Pengukuran Total Alkalinitas Di Perairan Estuari Sungai Indragiri Provinsi Riau. *Buletin Teknik Litkayasa Sumber Daya Dan Penangkapan*, **11**(1), 11–14.
- Blume, K. K., Macedo, J. C., Meneguzzi, A., Silva, L. B., Quevedo, D. M., & Rodrigues, M. A. S. (2010). Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **70**(4), 1185–1193.
- Boening, D. W. (2000). Ecological Effects, Transport, and Fate of Mercury: A general review. *Chemosphere*, **40**, 1335–1351.
- Boyd, C. E. (2015). *Water Quality An Introduction Third Edition* (Issue Springer).
- Bozorgnia, A., Hosseinifard, M., & Alimohammadi, R. (2011). Acute Effects of Different Temperature in the Blood Parameters of Common Carp (*Cyprinus carpio*). *2nd International Conference on Environmental Science and Technology*, **6**, 52–56.
- Budiastuti, P., Raharjo, M., & Yunita, N. A. (2016). Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, **4**(5), 119–125.
- Carpenter, K. E. (2001). The Living Marine Resources of The Western Central Pacific: Volume 5 Bony Fishes Part 3 (Menidae to Pomacentridae). In *The Living Marine Resources of thr Western Central Pacific* (Vol. 1).
- Casalí, J., Giménez, R., Díez, J., Álvarez-Mozos, J., Del Valle de Lersundi, J., Goñi, M., Campo, M. A., Chahor, Y., Gastesi, R., & López, J. (2010). Sediment Production and Water Quality of Watersheds with Contrasting Land Use in

Navarre (Spain). *Agricultural Water Management*, **97**(10), 1683–1694

Cech, T. V. (2005). *Principles of Water Resources: History, Development, Management, and Policy*.

Chakarov, S., Petkova, R., Russev, G. C., & Zhelev, N. (2014). DNA Repair and Carcinogenesis. *Biodiscovery*, **12**, 1433–1438.

Champan, D. (1996). *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition* Edited. In *E&FN Spon, an Imprint of Chapman & Hall*.

Chaudhary, M., Mishra, S., & Kumar, A. (2017). Estimation of Water Pollution and Probability of Health Risk Due to Imbalanced Nutrients in River Ganga, India. *International Journal of River Basin Management*, **15**(1), 53–60.

D'Costa, A. H., Shyama, S. K., Praveen Kumar, M. K., & Fernandes, T. M. (2018). Induction of DNA Damage in The Peripheral Blood of Zebrafish (*Danio rerio*) by an Agricultural Organophosphate Pesticide, Monocrotophos. *International Aquatic Research*, **10**(3), 243–251.

Darmono. (2001). *Lingkungan Hidup dan Pencemaran : Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Penerbit UI. Jakarta.

Dewa, C., Susanawati, L. D., & Widiatmo, B. R. (2016). Capacity of Gede's River Caused by Liquid Waste Disposal from Cassava Flour Industry in Ngadiluwih, Kediri. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, **1**(1), 35–43.

Dike, Oniyes, S. ., Ajibola, V. ., & Ezealor, A. . (2010). Nitrate and Phosphate Levels in River Jakara , Kano State , Nigeria. *Science World Journal*, **5**(3), 23–27.

Djoharama, V., Rianib, E., & Yani, M. (2018). Analisis Kualitas Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Pesanggahan di Wilayah Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, **8**(1), 127–133

Djumanto, Probosunu, N., & Ifriansyah, R. (2013). Indek Biotik Famili sebagai Indikator Kualitas Air Sungai Gajahwong Yogyakarta. *Jurnal Perikanan*, **15**(1), 26–34.

Dubey, A. and Tripathi, N.K. 2014. "Evaluation of Time, Dose, and Tissue Dependent Genotoxic Effect of Cadmium Chloride in a Freshwater Fish, *Channa punctatus* (Pisces : Family : Channidae)". *IJRSR* **5** (5) : 934-939. ISSN : 0976- 3031.

Ebokaiwe, A. P., Omarka, O. N., Okorie, U., Oje, O., Egedeigwe, C., Ekwe, A., & Nnaji, N. J. (2018). Assessment of Heavy Metals Around Abakaliki Metropolis and Potential Bioaccumulation and Biochemical Effects on The Liver, Kidney, and Erythrocyte of Rats. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, **24**(5), 1233–1255.

- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air*.
- Effendi, H., Kristianiarso, A. A., & Adiwilaga, E. M. (2013). Water Quality Characteristic of Cihideung River, Bogor Regency, West Java. *Ecolab*, **7**(2), 49–108.
- Eneji, I. S., Sha'Ato, R., & Annune, P. A. (2011). Bioaccumulation of Heavy Metals in Fish (*Tilapia Zilli* and *Clarias Gariepinus*) Organs From River Benue, North-Central Nigeria. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, **12**(1), 25–31.
- Fahrimal, Y., R, R., & Aliza, D. (2016). Gambaran Histopatologis Ginjal Tikus Putih (*Rattus novergicus*) Jantan yang Diinfeksi Trypanosoma evansi dan Diberi Ekstrak Daun Sernai (*Wedelia biflora*). *Jurnal Medika Veterinaria*, **8**(1), 166–170.
- Faizal, A., Jompa, J., Nessa, N., & Rani, C. (2012). Dinamika Spasio-Temporal Tingkat Kesuburan Perairan Di Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan. *Seminar Nasional Tahunan IX Hasil Penelitian Perikanan Dan Kelautan*, 1–18.
- Farombi, E. O., Adelowo, O. A., & Ajimoko, Y. R. (2007). Biomarkers of oxidative stress and heavy metal levels as indicators of environmental pollution in African cat fish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **4**(2), 158–165.
- Fauzan, M., Rosmaidar, Sugito, Zuhrawati, Muttaqien, & Azhar. (2017). Pengaruh Tingkat Paparan Timbal (Pb) terhadap Profil Darah Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*, **01**(4), 702–708.
- Fazio, F. (2018). Fish Hematology Analysis as an Important Tool of Aquaculture. *Aquaculture*, **500**, 237–242.
- Fenech, M., Holland, N., Chang, W. P., Zeiger, E., & Bonassi, S. (1999). The Human Micronucleus Project - An International Collaborative Study on The use of The Micronucleus Technique for Measuring DNA Damage in Humans. *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, **428**, 271–283.
- Fernandes, A., Ferreira-Cardoso, J. V., Garcia-Santos, S., Monteiro, S. M., Carrola, J., Matos, P., & Fontainhas-Fernandes, A. (2007). Histopathological Changes in Liver and Gill Epithelium of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, Exposed to Waterborne Copper. *Pesquisa Veterinaria Brasileira*, **27**(3), 103–109.
- Gazali, I., Widiatmono, B. R., & Wirosoedarmo, R. (2013). Evaluation Disposal Liquid Waste Impact Of Paper Factory To Quality Of Water In Klintar River Sub-Province Of Nganjuk. *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems*, **1**(2), 1–8.
- Hadi, A. A., & Alwan, S. F. (2012). Histopathological Changes in Gills , Liver and Kidney of Fresh Water Fish, *Tilapia zillii*, Exposed to Aluminum. *International Journal of Pharmacy & Life Sciences*, **3**(11), 2071–2081.

- Hadi, M. Z. A., Sutapa, I. G. N., & Kasmawan, I. G. A. (2016). Pengaruh Tingkat Intensitas Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Sel Darah Putih (Leukosit) dan Sel Darah Merah (Eritrosit) Pada Mencit. *Buletin Fisika*, **17**(1), 41–48.
- Hamuna, B., Tanjung, R. H. R., Suwito, S., Maury, H. K., & Alianto, A. (2018). Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, **16**(1), 35–43.
- Hananingtyas, I. (2017). Bahaya Kontaminasi Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Ikan Laut dan Upaya Pencegahan Kontaminasi pada Manusia. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, **2**(2), 38–45.
- Hardi, E. H., Pebrianto, C. A., & Saptiani, G. (2014). Toxicity of Extracellular and Product of *Pseudomonas* sp in Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal Veteriner*, **15**(3), 312–322.
- Hardi, E. H., Sukenda, Harris, E., & Lusiastuti, A. M. (2011). Characterization and Pathogenicity of  $\beta$  and Non Haemolytic Streptococcus Agalactiae in Cultured Nila Tilapia. *Jurnal Veteriner*, **12**(2), 152–164.
- Helfinalis, Sultan, & Rubiman. (2012). Padatan Tersuspensi Total di Perairan Selat Flores Bolong Alor dan Selatan Pulau Adonara Lembata Pantar. *Ilmu Kelautan - Indonesian Journal of Marine Sciences*, **17**(3), 148–153.
- Hidayah, A. M., Purwanto, P., & Soeprbowati, T. R. (2014). Biokonsentrasi Faktor Logam Berat Pb, Cd, Cr dan Cu pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linn.) di Karamba Danau Rawa Pening. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, **16**(1), 1–9.
- Hidayaturrahman. (2015). Karakteristik Bentuk dan Ukuran Sel Darah Ikan Betok (*Anabas testudineus*) dan Ikan Gabus (*Chana sriata*). *Journal of Environmental Science*, **11**, 88–93.
- Holland, N., Bolognesi, C., Kirsch-Volders, M., Bonassi, S., Zeiger, E., Knasmueller, S., & Fenech, M. (2008). The Micronucleus Assay in Human Buccal Cells as a Tool for Biomonitoring DNA Damage: The HUMN Project Perspective on Current Status and Knowledge Gaps. *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, **659**, 93–108.
- Hrubec, T. C., Cardinale, J. L., & Smith, S. A. (2000). Hematology and Plasma Chemistry Reference Intervals for Cultured Tilapia (*Oreochromis Hybrid*). *Veterinary Clinical Pathology*, **29**(1), 7–12.
- Husnah, H., Prianto, E., & Aida, S. N. (2017). Kualitas Perairan Sungai Musi Bagian Hilir Ditinjau Dari Karakteristik Fisika-Kimia Dan Struktur Komunitas Makrozoobenthos. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, **13**(3), 167–177.
- Hutagalung, H. P. (1984). Logam Berat dalam Lingkungan Laut. *Jurnal Oseana*, **9**(1), 11–20.
- Ibrahim, A. T. A., Abouelfadl, K. Y., & Osman, A. G. M. (2019). Ultraviolet A-induced Hematotoxic and Genotoxic Potential in Nile tilapia: *Oreochromis niloticus*. *Photochemical and Photobiological Sciences*, **18**(6), 1495–1502.



Ibrahim, L. A., & Ramzy, E. M. (2013). Water Quality and Its Impact on Tilapia Zilli (Case Study) Qarun Lake-Egypt. *International Water Technology Journal*, **3**(4), 170–191.

Ibrahim, S. A. (2013). Effect of water quality changes on gills and kidney histology of *Oreochromis niloticus* fish inhabiting the water of Rosetta branch, River Nile, Egypt. *World Applied Sciences Journal*, **26**(4), 438–448.

Indrayana, R., Yusuf, M., & Rifai, A. (2014). Pengaruh Arus Permukaan Terhadap Sebaran Kualitas Air Di Perairan Genuk Semarang. *Jurnal Oseanografi*, **3**(4), 651–659.

Istiqomah, D. A., Suminto, S., & Harwanto, D. (2018). Effect of Water Exchange by Different Percentages Against Survival Rate, the efficiency utilization of feed and the Growth of the Seed of Monosex Fish Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*, **7**(1), 46–54.

Jamin, J., & Erlangga, E. (2016). The Effect of Organophosphate Insecticide on Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Bleeker): Histology Analysis of Liver and Gills. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, **3**(2), 46–53.

Jannah, R., Rosmaidar, Nazaruddin, Winaruddin, Balqis, U., & Armansyah, T. (2017). Pengaruh Paparan Timbal (Pb) terhadap Histopatologi Hati Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *JIMVET*, **1**(4), 742–748.

Järup, L. (2003). Hazards of Heavy Metal Contamination. *British Medical Bulletin*, **68**, 167–182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>

Javed, M., Ahmad, I., Usmani, N., & Ahmad, M. (2016). Studies on Biomarkers of Oxidative Stress and Associated Genotoxicity and Histopathology in *Channa punctatus* from Heavy Metal Polluted Canal. *Chemosphere*, **151**, 210–219.

Joseph, J. B., & Sujatha, S. S. (2010). Real-time quantitative (PCR) applications to quantify and the expression profiles of heat shock protein (HSP70) genes in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) and *Oreochromis mossambicus* (P.). *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, **2**(1), 44–48.

Juanda, S. J., & Edo, S. I. (2018). Gill, Liver and Gut's Histopathology of Catfish (*Clarias gariepinus*) in Kota Kupang, East West Nusa. *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, **14**(1), 23–29.

Kalaiyarasi, T., Jayakumar, N., Jawahar, P., Ahilan, B., & Subburaj, A. (2017). Histological changes in the gill and liver of marine spotted catfish, *Arius maculatus* from sewage disposal site, Therespuram off Thoothukudi, Southeast coast of India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **5**(5), 1710–1715.

Kamarati, K. F., Ivanhoe, M., & Sumaryono, M. (2018). Heavy Metal Content Iron (Fe), Lead (Pb) and Manganese (Mn) in The Water of The Santan River. *Jurnal of Diptercarp Ecosystem Research*, **4**(1), 49–56.

Kammerer, B. D., Cech, J. J., & Kültz, D. (2010). Rapid changes in plasma cortisol, osmolality, and respiration in response to salinity stress in tilapia

(*Oreochromis mossambicus*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, **157**(3), 260–265.

Kaoud, H. A., Zaki, M. M., El-Dahshan, A. R., Saeid, S., & El Zorba, H. Y. (2011). Amelioration the toxic effects of cadmium-exposure in nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by using Lemnagibba L. *Life Science Journal*, **8**(1), 185-195.

Kaoud, H.A., Khaled M.A Mahran., Ahmed Rezk & Mahmoud A. Khalf. (2012). Bioremediation The Toxic Effect of Mercury on Liver Histopathology, Some Hematological Parameters and Enzymatic Activity in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Researcher*, **4**(1), 60-70.

Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, G. R., Nouri, J., & Nematpour, K. (2008). Metal Pollution Assessment of Sediment and Water in The Shur River. *Environmental Monitoring and Assessment*, **147**(1), 107–116.

Kashyap, B., & Reddy, P. S. (2012). Micronuclei Assay of Exfoliated Oral Buccal Cells: Means to Assess The Nuclear Abnormalities in Different Diseases. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, **8**(2), 184–191.

Kaur, S., Singh Khera, K., Kaur Kondal, J., & Saravpreet Kaur. (2018). Heavy Metal Induced Histopathological Alterations in Liver, Muscle and Kidney of Freshwater Cyprinid, *Labeo rohita* (Hamilton). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **6**(2), 2137–2144.

Khaeksi, I. P., Haeruddin, & Rudolf, M. (2015). The Status of Plumbon River Pollution Viewed from Total Suspended Solid and Macrozoobenthos Community Structure. *Diponegoro Journal of Maquares. Management of Aquatic Resources*, **4**(3), 1–10.

Khalil, M. (2013). Pemaparan Merkuri Nitrat (Hg (No<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) dengan Konsentrasi Berbeda pada Jaringan Hati Benih Ikan Kakap Putih (*Lates calcarifer* Bloch):Tinjauan Histologi. *Depik Jurnal*, **2**(3), 133–140.

Kottelat, M., & Whitten, A. J. (1996). Freshwater Fishes of Western Indonesia and Sulawesi. *Copeia*, 1–8.

Kristiawan, D., Widyorini, N., Haeruddin, & Program. (2014). Hubungan Total Bakteri Dengan Kandungan Bahan Organik Total Di Muara Kali Wisu, Jepara. *Diponegoro Journal of Maquares*, **3**(4), 24–33.

Kulkarni, S. J., & Kaware, J. P. (2013). A Review on Research for Cadmium Removal from Effluent. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, **2**(4), 465–469.

Kurniadie, D., Putri, V., & Umiyati, U. (2016). The relationship between contaminated water quality and weed diversity in Cikeruh and Cikapundung rivers Diterima. *Journal Cultivation*, **15**(3), 194–201.

Kurniawan. (2013). Analisis Kualitas Air Dilihat Dari Total Suspended Solid (TSS) di Perairan Pulau Pahawang Lampung. *Jurnal Praktek Laut*, 1–10.

- Lavabetha, Andi.R.R.R., H., Muhamat., & S., H. B. (2015). Profil Darah Ikan Timpakul (*Periophthalmodon schlosseri*) dari Muara Sungai Barito Kalimantan Selatan. *Journal of Bioscientiae*, **12**(1), 78–89.
- Lestari, E., Setyawati, T. R., & Yanti, A. H. (2017). Profil Hematologi Ikan Gabus (*Channa striata* Bloch, 1793). *Jurnal Protobiont*, **6**(3), 283–289.
- Lestari, I. W., & Trihadiningrum, Y. (2011). Bioassessment Kualitas Air Sungai rejos di kecamatan Rejos Pasuruan dengan Makroinvertebrata. *lin*. 1–5.
- Lestari, P., & Trihadiningrum, Y. (2019). The impact of improper solid waste management to plastic pollution in Indonesian coast and marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, **149**, 1–9.
- Lestari, W. P., Wiratmini, N. I., & Dalem, A. A. G. R. (2018). Struktur Histologi Insang Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus* L.) sebagai Indikator Kualitas Air Lagoon Nusa Dua, Bali. *Jurnal Symbiosis*, **6**(2), 45–49.
- Lubis, U. F., Marusin, N., & Zakaria, I. J. (2014). Analisis Histologis Hati Ikan Asang (*Osteochilus hasseltii* CV) di Danau Maninjau dan Danau Singkarak, Sumatera Barat. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, **3**(2), 162–167.
- Lukman, Mulyana, & Mumpuni, F. (2014). Effectiveness of Tuba Root (*Derris elliptica*) in Lengthening Mortality Time of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Agricultural Journal*, **5**(1), 22–31.
- Lusiastuti, A. M., & Hardi, E. H. (2018). Gambaran darah sebagai indikator kesehatan pada ikan air tawar. *Prosiding Seminar Nasional Ikan*, **6**(1), 65–69.
- Maftuch, Nursyam, H., & Sukarni. (2012). Kajian Penggunaan Ciprofloxacin terhadap Histologi Insang dan Hati Ikan Botia (*Botia macracanthus*, Bleeker) yang Diinfeksi Bakteri *Aeromonas hydrophila*. *Journal of Experimental Life Science*, **2**(2), 65–69.
- Maftuch, M., Sanoesi, E., Farichin, I., Saputra, B. A., Ramdhani, L., Hidayati, S., Fitriyah, N., & Prihanto, A. A. (2018). Histopathology of gill, muscle, intestine, kidney, and liver on *Myxobolus* sp.-infected Koi carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Parasitic Diseases*, **42**(1), 137–143.
- Maghrabi, O. (2016). Histopathological Effects of Some Helminthic Parasites on the Liver of Serranid Fish. *Journal of Zoological Sciences*, **9**(3), 1922–1926.
- Mahyudin, Soemarno, & Prayogo, T. B. (2015). Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang. *Jurnal PAL*, **6**(2), 105–114.
- Mainassy, M. C. (2017). The Effect of Physical and Chemical Parameters on the Presence of Lompa Fish (*Thryssa baelama* Forsskål) in the Apui Coastal Waters of Central Maluku District. *Journal of Fisheries*, **19**(2), 61–66.
- Makmur, M., Haryoto, K., Setyo, M., & Djarot, W. (2012). Pengaruh Limbah Organik dan Rasio N/P Terhadap Kelimpahan Fitoplankton di Kawasan Budidaya Kerang Hijau Cilincing. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*,

15(2), 51–64.

Mallatt, J. (1985). Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **42**(4), 630–648.

Mamoribo, H., Rompas, R. J., & Kalesaran, O. J. (2015). Determination of Cadmium Content (Cd) in Malalayang Coastal Waters Around Hospital Prof Kandou Manado. *Journal of Aquaculture*, **3**(1), 114–118.

Mandia, S., Marusin, N., & Santoso, P. (2013). Histological Analysis of Kidney of Silver Sharkminnow (*Osteochilus hassletii*) from Maninjau and Singkarak Lakes, West Sumatra. *Journal Biology Universitas Andalas*, **2**(3), 194–200.

Mannina, G., & Viviani, G. (2010). Water quality modelling for ephemeral rivers: Model development and parameter assessment. *Journal of Hydrology*, **393**(3–4), 186–196.

Marwan, A. H., Widyorini, N., & Nitisupardjo, M. (2015). The Relation of Total Bacteria and Total Organic Matter in Babon River Estuary, Semarang. *Diponegoro Journal of Maquares*, **4**(3), 170–179.

Masriadi. (2019). Analysis of the Distribution Rate of Cadmium (Cd) Contamination in the Jeneberang River Waters of Gowa Masriadi,. *Journal of Agricultural Technology Education*, **5**(2), 14–25.

Matofani, A. S., Hastuti, S., & Basuki, F. (2013). Blood Profile of Tilapia Kunti (*Oreochromis niloticus*) Injected by *Streptococcus agalactiae* with Different Density. *Journal of Aquaculture Management and Technology*, **2**(2), 64–72.

Mishra, A. K., & Mohanty, B. (2008). Acute Toxicity Impacts of Hexavalent Chromium on Behavior and Histopathology of Gill, Kidney and Liver of The Freshwater Fish, *Channa punctatus* (Bloch). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **26**(2), 136–141.

Mjoun, K., Rosentrater, K., & Brown, M. L. (2010). TILAPIA : Profile and Economic Importance. *South Dakota Cooperative Extension Service*, 1–5

Morera, D., & Mackenzie, S. A. (2011). Is there a direct role for erythrocytes in the immune response? *Veterinary Research*, 42–89.

Mosley, L. M., Fitzpatrick, R. W., Palmer, D., Leyden, E., & Shand, P. (2014). Changes in acidity and metal geochemistry in soils, groundwater, drain and river water in the Lower Murray River after a severe drought. *Science of the Total Environment*, **485–486**(1), 281–291.

Mulliani, H. (1999). Pengaruh Logam terhadap Status Darah Ikan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, **2**(2), 54–60.

Muryadi, Budijono, & M.Hasbi. (2020). Akumulasi Logam Berat Dalam Tiga Organ Ikan Dari Koto Panjang. *Jurnal Sumberdaya Dan Lingkungan Akuatik*, **1**(2), 124–130.

- Muryani, C. (2010). Analysis of Coastline Changes Using GIS and its Impact on The Community's Life Around Rejoso River Estuary Pasuruan District. *Geography Forum Journal*, **24**(2), 173–182.
- Mustofa, A. (2015). Kandungan nitrat dan pospat sebagai faktor tingkat kesuburan perairan pantai. *Jurnal Disprotek*, **6**(1), 13–19.
- Nirmala, K., Hastuti, Y. P., & Yuniar, V. (2013). Toxicity of Mercury (Hg) on Survival and Growth Rate, Hematology and Histopathological Parameters of *Oreochromis niloticus*. *Indonesian Journal of Aquaculture*, **11**(1), 38–48.
- Nordberg, G. F., Flower, B. A., Nordberg, M., & Friberg, L. (1982). Handbook on The Toxicology of Metals. In *Science of The Total Environment*.
- Obiakor, M. ., Okonkwo, J. ., P.C, N., & C.D, E. (2012). Eco-genotoxicology: Micronucleus Assay in Fish Erythrocytes as In situ Aquatic Pollution Biomarker. *Journal of Animal Science Advances*, **2**(1), 123–133.
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (1993). Fundamentals of Ecology. In *London : W.B. Saunders company*.
- Oktapiandi, Sutrisno, J., & Sunarto. (2019). Analisis Pertumbuhan Ikan Nila yang Dibudidayakan pada Air Musta'mal. *Jurnal Bioeksperimen*, **5**(1), 16–20.
- Özkan, F., Gündüz, S. G., Berköz, M., & Özlüer Hunt, A. (2011). Induction of Micronuclei and Other Nuclear Abnormalities in Peripheral Erythrocytes of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, Following Exposure to Sublethal Cadmium Doses. *Turkish Journal of Zoology*, **35**(4), 585–592.
- Pal, G. ., & Pal, P. (2006). *Textbook of Practical Physicology*.
- Palimirmo, F. S., Damar, A., & Effendi, H. (2016). Distribution Dynamic of Heterotrophic Bacteria in Jakarta Bay. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, **21**(1), 26–34.
- Pandit, N. P., & Nakamura, M. (2010). Effect of High Temperature on Survival, Growth and Feed Conversion Ratio of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Our Nature*, **8**(1), 219–224. <https://doi.org/10.3126/on.v8i1.4331>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Prasetio, E., Fakhrudin, M., & Hasan, H. (2017). the Effect of Poeder (*Aloe vera*) Fish on Jelawat Hematology (*Leptobarbus hoevenii*) Tested The Challenge Bacteria *Aeromonas hydrophila*. *Journal of Fisheries and Marine Science Research and Studies*, **5**(2), 44–54.
- Prabowo, R., & Subantoro, R. (2012). Kualitas Air dan Beban Pencemaran Pestisida di Sungai Babon Kota Semarang. *Mediagro*, **8**(1), 9–17.
- Prastyo, Y., Batu, D. T. . L., & Sulistiono, S. (2017). Heavy Metal Contain Cu and Cd on the Mullet in the estuary of Donan River, Cilacap, Central Java. *Indonesian Journal of Fishery Products Processing*, **20**(1), 18–27.

- Pratiwi, D. Y., Nugroho, A. P., & Yustiati, A. (2019). Bioakumulasi Ion Tembaga Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* L.) di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), Bantul. *Akuatika Indonesia*, **4**(2), 57-64.
- Puji Lestari, W., Wiratmini, N. I., & Raka Dalem, A. A. G. (2018). Struktur Histologi Ikan Mujahir (*Oreochromis mossambicus* L.) sebagai Indikator Kualitas Air Lagoon Nusa Dua, Bali. *Jurnal Symbiosis*, **6**(2), 45-49.
- Putra, I. S. (2015). Studi Pengukuran Kecepatan Aliran Pada Sungai Pasang Surut. *Info Teknik*, **16**(1), 33-46.
- Putri, D., Yusuf, M., & Maslukah, L. (2014). Sebaran Kandungan Bahan Organik Total Di Perairan Muara Sungai Porong Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Oseanografi*, **3**(4), 610-617.
- Putri, R. R., Basuki, F., & Hastuti, S. (2013). The Profile of Blood and Survival Rate Tilapia Pandu F5 (*Oreochromis niloticus*) infected bacteria *Streptococcus agalactiae* With Different Density. *Journal of Aquaculture Management and Technology*, **2**(2), 47-56.
- Qiu, J., Wang, X., He, S., Liu, H., Lai, J., & Wang, L. (2017). The catastrophic landside in Maoxian county, Sichuan, SW China, on June 24, 2017. *Natural Hazards*, **89**(3), 1485-1493.
- Radwan, M., Willems, P., El-Sadek, A., & Berlamont, J. (2010). Modelling of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand in river water using a detailed and a simplified model. *International Journal of River Basin Management*, **1**(2), 97-103.
- Rahayu, S. D., Zulfatin, Z. L., & Nurliani, A. (2013). Efek Histopatologis Insektisida  $\lambda$ -Cyhalothrin terhadap Insang, Hati, dan Usus Halus Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* L., 1758). *Jurnal Biosfera*, **30**(2), 52-65.
- Rainboth, W. J. (1996). Fishes of The Cambodian Mekong. *Food and Agriculture Organization of The United Nations*, **27**, 215-218.
- Rajkokila, Shajithanoop, S., & Usharani, M. (2010). Nuclear Anomalies in Exfoliated Buccal Epithelial Cells of Petrol Station Attendants in Tamilnadu, South India. *Journal of Medical Genetic and Genomics*, **2**(2), 18-22.
- Ramesh, M., Anitha, S., Poopal, R. K., & Shobana, C. (2018). Evaluation of Acute and Sublethal Effects of Chloroquine (C18H26ClN3) on Certain Enzymological and Histopathological Biomarker Responses of a Freshwater Fish *Cyprinus carpio*. *Toxicology Reports*, **5**, 18-27.
- Ravanaiah G, Narasimha Murthy CV. (2010). Impact of Aquaculture and Industrial Pollutants of Nellore District on The Histopathological Changes in The Gill of Fish, *Tilapia mossambica*. *Indian J Comp Anim Physiol*. **28**:108-114.
- Rao, E. V. P., Puttanna, K., Sooryanarayana, K., Biswas, A., & Arunkumar, J. (2017). Assessment of Nitrate Threat to Water Quality in India. In *The Indian Nitrogen Assessment: Sources of Reactive Nitrogen, Environmental and Climate Effects, Management Options, and Policies*. Elsevier Inc.

Riani, E., Johari, H. S., & Cordova, M. R. (2017). Kontaminasi Pb dan Cd pada ikan bandeng *Chanos chanos* yang dibudidayakan di Kepulauan Seribu. *Jakarta. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, **9**(1), 235-246.

Robin, & Supendi, A. (2015). Analisis Dampak Limbah Cair Industri Tahu terhadap Penurunan Kualitas Air dan Keragaman Ikan Air Tawar di Sungai Cipelang Kota Sukabumi. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains Dan Teknologi*, **10**(2), 52–56.

Royan, F., Rejeki, S., & Haditomo, A. . C. (2014). The Effects of Different Salinity on Blood Profile Parameters of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquaculture Management and Technology*, **3**(2), 109–117.

Rustikawati, I. (2012). Efektivitas Ekstrak Sargassum sp. terhadap Diferensiasi Leukosit Ikan Nilai (*Oreochromis niloticus*) yang Diinfeksi *Streptococcus iniae*. *Jurnal Akuatika Vol. III*, **3**(2), 125–134.

Safitri., Dewi., Sugito dan Sumarti S. 2013. Kadar Hemoglobin Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Diberi Cekaman Panas dan Pakan yang Disuplementasikan Tepung Daun Jatoh. *Jurnal Medika Veterinaria*, **7**(1): 39-41.

Sahetapy, J. M. F. (2012). The Impact of Sub Chronic Lead (Pb) Towards Hematological Responses and Growth of Juvenile Tiger Grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*. *Triton Journal*, **8**(1), 30–39.

Salmin. (2005). Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Journal Oseana*, **30**(3), 21–26.

Sandra, D., Aliza, D., & Nazaruddin. (2020). Gambaran Histopatologis Ginjal Ikan Mujahir (*Oreochromis mossambicus*) yang Terpapar Merkuri Klorida (HgCl<sub>2</sub>). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*, **5**(1), 34–42.

Sani, K. I., Lestari, S., & Atang. (2020). Gambaran Histopatologis Ginjal Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) yang Terpapar Limbah Cair Batik Hasil Biosorpsi. *Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, **2**(1), 7–10.

Saparuddin, S. (2019). Respon Hematologi Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) pada Suhu Pemeliharaan yang Berbeda. *Saintifik*, **5**(2), 121–126.

Saraswati, S. P., Sunyoto, Kironoto, B. A., & Hadisusanto, S. (2014). Kajian Bentuk dan Sensitivitas Rumus Indeks PI, STORET, CCME untuk Penentuan Status Mutus Perairan Sungai Tropis di Indonesia. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, **21**(2), 129–142.

Sari, W., Okavia, I. W., Ceriana, R., & Sunarti, S. (2016). Struktur Mikroskopis Hati Ikan Seurukan (*Osteochilus vittatus*) dari Sungai Krueng Sabee Kabupaten Aceh Jaya yang Tercemar Limbah Penggilingan Bijih Emas. *BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi Dan Kependidikan*, **4**(1), 33–40.

Secchi, S., Gassman, P. W., Jha, M., Kurkalova, L., & Kling, C. L. (2011). Potential water quality changes due to corn expansion in the Upper Mississippi River

- Basin. *Ecological Applications*, **21**(4), 1068–1084.
- Sembiring, S. M., Melki, & Agustriani, F. (2012). Kualitas Perairan Muara Sungsang Ditinjau dari Konsentrasi Bahan Organik pada Kondisi Pasang Surut. *Maspari Journal*, **4**(2), 238–247.
- Senila, M., Levei, E., Miclean, M., Tanaselia, C., David, L., & Cordos, E. (2007). Study Regarding the Water Quality in Aries Catchment. *Chem. Bull. "POLITEHNICA" Univ. (Timișoara)*, **52**(66), 1–2.
- Simatupang, C. M., Surbakti, H., & Agussalim, A. (2016). Analysis of Flow Data on Estuarine Banyuasin River in South Sumatera. *Maspari Journal*, **8**(1), 15–24.
- Standar Nasional Indonesia 8066:2015 tentang Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai Dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus Dan Pelampung. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–40.
- Standar Nasional Indonesia 7387:2009 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan.
- Standar Nasional Indonesia 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. *Badan Standardisasi Nasional*, 1-24.
- Standar Nasional Indonesia 6989.2:2009 tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand /COD*) dengan Refluks Tertutup secara Spektrometri. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–16.
- Strzyzewska, E., Szarek, J., & Babinska, I. (2016). Morphologic Evaluation of The Gills as a Tool in The Diagnostics of Pathological Conditions in Fish and Pollution in The Aquatic Environment: A review. *Veterinari Medicina*, **61**(3), 123–132.
- Sudrajat, S., Astuti, D., & Mustakim, M. (2020). Analisis Histopatologis Insang dan Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Fe pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dibudidayakan di Kolam Bekas Tambang Kota Samarinda. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, **7**(1), 36–42.
- Sugito, Nurliana, Aliza, D., & Samadi. (2014). Differential Leukocytes and Survival of Tilapia Fish Challenged with *Aeromonas hydrophila* and Given Heat Stress and Supplemented with Willow Leaf Powder. *Jurnal Kedokteran Hewan - Indonesian Journal of Veterinary Sciences*, **8**(2), 158–163.
- Sudrajat, S., Astuti, D., & Mustakim, M. (2020). Analisis Histopatologis Insang dan Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Fe pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dibudidayakan di Kolam Bekas Tambang Kota Samarinda. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, **7**(1), 36–42.
- Sugiyarto, Hariono, I. B., & Destarianto, P. (2017). Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Daya Tampung Wilayah DAS Sampean. *Seminar Nasional Hasil Penelitian*, 379–384.
- Sungkawa, I. (2013). Penerapan Analisis Regresi dan Korelasi dalam Menentukan Arah Hubungan antara Dua Faktor Kualitatif pada Tabel Kontingensi. *Jurnal*



*Matematika Statistik*, 13(1), 33–41.

Suparjo, M. N. (2009). Kondisi Pencemaran Perairan Sungai Babon Semarang. *Jurnal Saintek Perikanan*, 4(2), 38–45.

Susana, T. (2009). Tingkat Keasaman (pH) dan Oksigen Terlarut sebagai Indikator Kualitas Perairan Sekitar Muara Sungai Cisadane. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(2), 33–39.

Swier, S., & Singh, O. P. (2004). Status of Water Quality in Coal Mining Areas of Meghalaya, India. *Proceedings of the National Seminar on Environmental Engineering with Special Emphasis on Mining Environment*, 1–9.

Syahrial, A., Setyawati, T. R., & Khotimah, S. (2013). Tingkat Kerusakan Jaringan Darah Ikan Mas (*Cyprinus carpio*) yang Dipaparkan pada Media Zn-sulfat (ZnSO<sub>4</sub>). *Protobiont*, 2(3), 181–185.

Taufik, I., Koesoemadinata, S., Sutrisno, S., & Nugraha, A. (2002). Potensi Akumulasi Insektisida Klorpirifor etil dalam Jaringan Tubuh Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 8(3), 37–43.

Terradas, M., Martín, M., Tusell, L., & Genescà, A. (2010). Genetic Activities in Micronuclei: Is The DNA Entrapped in Micronuclei Lost for The Cell? *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, 705(1), 60–67.

Thophon, S., Kruatrachue, M., Upatham, E. S., Pokethitiyook, P., Sahaphong, S., & Jaritkuan, S. (2003). Histopathological Alterations of White Seabass, Lates Calcarifer, in Acute and Subchronic Cadmium Exposure. *Environmental Pollution*, 121(3), 307–320.

Titenko-Holland, N., Jacob, R. A., Shang, N., Balaraman, A., & Smith, M. T. (1998). Micronuclei in Lymphocytes and Exfoliated Buccal Cells of Postmenopausal Women with Dietary Changes in Folate. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 417, 101–114.

Tjokrokusumo, S. W. (2006). Bentik Makroinvertebrata sebagai Bioindikator Polusi Lahan Perairan. *Jurnal Hidrosfir*, 1(1), 8–20.

Tolbert, P. E., Shy, C. M., & Allen, J. W. (1992). Micronuclei and Other Nuclear Anomalies in Buccal Smears: Methods Development. *Mutation Research*, 271, 69–77.

Tresnati, J. (2013). Perubahan Jaringan Ginjal Ikan Pari Kembang (*Dasyatis kuhlii*) Akibat Paparan Logam Merkuri (Hg). *Jurnal Sains & Teknologi*, 3(3), 1–5.

Tungka, A. W., Haeruddin, H., & Ain, C. (2016). Concentration of Nitrate and Orthophosphate at Banjir Kanal Barat Estuary and their Relationship with the Abundance of Harmful Algae Blooms. *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 12(1), 40–46.

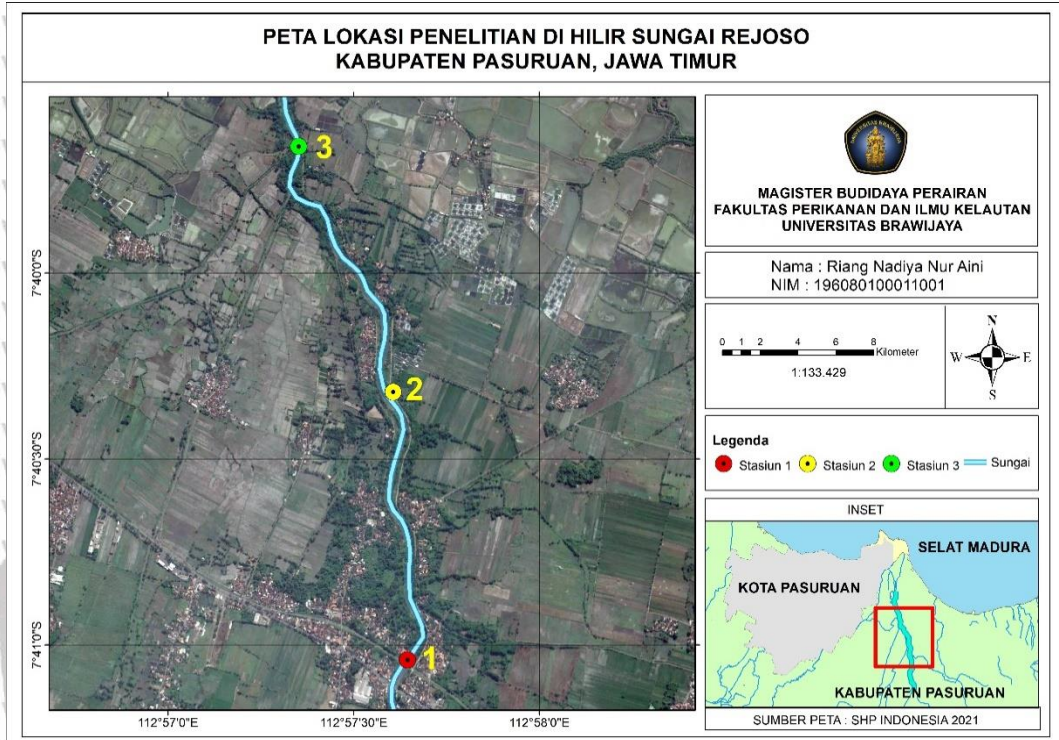
Tyastuti, E. M., Astirin, O. P., & Sunarto, S. (2016). Ekogenotoksisitas Limbah Cair Batik dan Efek Antimutagenik Lemna minor terhadap Eritrosit Ikan Nila

- (*Oreochromis niloticus*). *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, **2**(2), 119–129.
- Ulqodry, T. Z., Yulisman, Syahdan, M., & Santoso. (2010). Karakteristik dan Sebaran Nitrat, Fosfat, dan Oksigen Terlarut di Perairan Karimunjawa Jawa Tengah. *Jurnal Penelitian Sains*, **13**(1), 36–43.
- Uribe, C., Folch, H., Enriquez, R., & Moran, G. (2011). Innate and Adaptive Immunity in Teleost Fish: A review. *Veterinari Medicina*, **56**(10), 486–503.
- Van Dyk, J. C., Marchand, M. J., Pieterse, G. M., Barnhoorn, I. E. J., & Bornman, M. S. (2009). Histological changes in the gills of *Clarias gariepinus* (Teleostei: Clariidae) from a polluted South African urban aquatic system. *African Journal of Aquatic Science*, **34**(3), 283–291.
- Van Vliet, M. T. H., Franssen, W. H. P., Yearsley, J. R., Ludwig, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D. P., & Kabat, P. (2013). Global River Discharge and Water Temperature Under Climate Change. *Global Environmental Change*, **23**(2), 450–464.
- Vasanthi, L. A., Revathi, P., Arulvasu, C., & Munuswamy, N. (2012). Biomarkers of Metal Toxicity and Histology of *Perna viridis* from Ennore Estuary, Chennai, South East Coast of India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **84**, 92–98.
- Verbost, P. M., Flik, G., Lock, R. A. C., & Wendelaar Bonga, S. E. (1987). Cadmium inhibition of Ca<sup>2+</sup> uptake in rainbow trout gills. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 216–220.
- Walukow, A. F. (2010). Penentuan Status Mutu Air Dengan Metode Storet Didanau Sentani Jayapura Propinsi Papua. *Berita Biologi*, **10**(3), 277–281.
- Widigdo, B., Hariyadi, S., Iswantari, A., & Pangaribuan, A. (2020). Evaluasi kualitas air Danau Hias Crown Golf, Jakarta Utara berdasarkan kandungan N dan P. *Habitus Aquatica*, **1**(2), 28–37.
- Widyaningrum, T., & Suharyanti, T. (2011). Pengaruh Merkuri Klorida Terhadap Pertumbuhan dan Histopatologi Ginjal Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*, Linn). *Seminar Nasional VIII Pendidikan Biologi* **15**(4), 129–138.
- Wijayanti, T. (2017). Profil Pencemaran Logam Berat pada Perairan Daerah Aliran Sungai (Das) Grindulu Pacitan. *Jurnal Ilmiah Sains*, **17**(1), 19–25.
- Winnarsih, Emiyarti, & Afu, L. O. A. (2016). Distribution of total suspended solid surfaces In Kendari Bay. *Jurnal Sapa Laut*, **1**(2), 54–59.
- Wolf, J. C., Baumgartner, W. A., Blazer, V. S., Camus, A. C., Engelhardt, J. A., Fournie, J. W., Frasca, S., Groman, D. B., Kent, M. L., Khoo, L. H., Law, J. M., Lombardini, E. D., Ruehl-Fehlert, C., Segner, H. E., Smith, S. A., Spitsbergen, J. M., Weber, K., & Wolfe, M. J. (2015). Nonlesions, Misdiagnoses, Missed Diagnoses, and Other Interpretive Challenges in Fish Histopathology Studies: A Guide for Investigators, Authors, Reviewers, and Readers. *Toxicologic Pathology*, **43**(3), 297–325.

- Wright, J. (2010). Biomonitoring with Aquatic Benthic Macroinvertebrates In Southern Costa Rica In Support of Community Based Watershed Monitoring. *York University*, 30, 1–64.
- Yanto, H., Hasan, H., & Sunarto. (2015). Hematological Study for Fish Disease Early Diagnosis in the Production Center of Freshwater Fish Farming Kapuas River, Pontianak City. *Aquatic Journal*, 6(1), 11–20.
- Yolanda, Suci., Rosmaidar., Nazarauddin., T. Armansyah., Ummu Balqis & Yudha Fahrimal. (2017). Pengaruh Paparan Timbal (Pb) terhadap Histopatologi Insang Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *JIMVET*, 01(4), 736-741.
- Younis, E. M., Abdel-Warith, A. A., Al-Asgah, N. A., Ebaid, H., & Mubarak, M. (2013). Histological changes in the liver and intestine of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed to sublethal concentrations of cadmium. *Pakistan Journal of Zoology*, 45(3), 833-841.
- Yudo, S. (2006). Kondisi Pencemaran Logam Berat Di Perairan Sungai DKI Jakarta. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1), 1–15.
- Yulfiperius, Toelihere, M. R., Affandi, R., Sjafei, D., & Subardja. (2006). Pengaruh Alkalinitas terhadap kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Ikan Lalawak (*Barbodes sp.*). *Jurnal Biosfera*, 23(1), 38–43.
- Yusnita, E. A., & Triajie, H. (2021). Penentuan Status Mutu Air di Perairan Estuari Kecamatan Socah Kabupaten Bangkalan Menggunakan Metode STORET dan Metode Indeks Pencemaran. *Juvenil*, 2(2), 157–165.
- Zainuri, M., Sudrajat, & Siboro, E. S. (2011). Kadar Logam Berat Pb pada Ikan Beronang (*Siganus sp*), Lamun, Sedimen dan Air di Wilayah Pesisir Kota Bontang-Kalimantan timur. *Jurnal Kelautan*, 4(2), 102–118.
- Zodape, G. V., Dhawan, V. L., Wagh, R. ., & Sawant, A. . (2011). Contamination of Heavy Metals in Seafood Marketed from Virar and Bhayender Markets of Suburban Areas of Mumbai (west coast of) India. *International Journal of Environmental Science*, 1(6), 1177–1185.
- Zubaidah, T., Karnaningroem, N., & Slamet, A. (2019). The self-purification ability in the Rivers of Banjarmasin, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 20(2), 177–182.
- Zulfahmi, I., Muliari, & Akmal, Y. (2017). Indeks Hepatosomatik dan Histopatologi Hati Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus* Linnaeus 1758) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit. *Semdi Unaya*, 301–314.
- Zulfahmi, I., Rahmi, Y., Sardi, A., & Akmal, Y. (2021). Biometric Condition of Seurukan Fish (*Osteochillus vittatus* Valenciennes , 1842) Exposed to Mercury In Krueng Sabee River Aceh Jaya Indonesia. *Elkawnie*, 7(1), 67–83.

# LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Lokasi Penelitian



Lampiran 2. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

No	Alat	Kegunaan
1.	Botol 600 ml	Untuk wadah air sampel
2.	DO meter	Untuk mengukur suhu dan oksigen terlarut
3.	<i>Secchi disc</i>	Untuk mengukur kecerahan perairan
4.	Penggaris	Untuk mengukur panjang d1 dan d2 pada tali
5.	Tali raffia	Untuk mengukur panjang ikan
6.	<i>Current meters</i>	Untuk mengukur kecepatan arus perairan
7.	pH meter	Untuk mengukur ion hidrogen suatu perairan
8.	Buret	Untuk mengukur volume cairan
9.	Statif	Untuk menyangga buret
10.	Pipet tetes	Untuk meneteskan larutan
11.	Corong	Untuk membantu memasukkan larutan dalam buret
12.	Erlenmeyer 50 ml	Untuk mereaksikan air sampel dengan larutan
13.	Gelas ukur 50 ml	Untuk mengukur jumlah air sampel yang akan diuji
14.	Cuvet	Untuk tempat menyimpan larutan indikator
15.	Rak cuvet	Untuk tempat meletakkan cuvet
16.	<i>Hot plate</i>	Untuk memanaskan cairan sampel
17.	<i>Beaker glass</i>	Untuk wadah saat memanaskan cairan sampel diatas <i>hot plate</i>
18.	Spektrofotometer (690 nm)	Untuk mengukur kadar fosfat
19.	Cawan porselen	Untuk tempat sampel yang akan dipanaskan
20.	Spatula	Untuk menguapkan larutan
21.	Pipet volume	Untuk mengambil larutan dalam skala volume
22.	Bola hisap	Untuk membantu mengambil larutan saat menggunakan pipet volume
23.	<i>Washing bottle</i>	Untuk tempat aquades
24.	Spektrofotometer (410 nm)	Untuk mengukur kadar nitrat
25.	Spuit	Untuk mengambil sampel darah ikan
26.	<i>Set section</i>	Untuk mengambil sampel organ ikan
27.	Tabung tube	Untuk tempat sampel darah ikan
28.	Pot sampel	Untuk tempat sampel organ ikan



29. Eppendorf	Untuk wadah penyimpanan sampel darah ikan
30. Cool box	Untuk wadah penyimpanan sampel air sungai dan ikan
31. Mikroskop	Untuk mengamati objek penelitian
32. Object glass	Untuk menempatkan objek yang akan dianalisa dengan menggunakan mikroskop
33. Cover glass	Untuk menutup objek yang telah diletakkan di atas preparat atau <i>object glass</i>
34. Pipet eritrosit	Untuk memindahkan cairan darah dari wadah satu ke wadah yang lain dalam jumlah sedikit (setetes)
35. Haemocytometer	Untuk melakukan perhitungan sel darah secara cepat
36. Hemometer set	Untuk menentukan kadar hemoglobin dalam darah berdasarkan satuan warna ( <i>colorimetric</i> )
37. Spidol/Bulpoint	Untuk menulis pada kertas label
38. Buku catatan	Untuk menulis hasil data yang didapatkan
39. Laptop	Untuk media input data dan pengerjaan laporan

## 2. Bahan Penelitian

No	Bahan	Kegunaan
1.	Air sungai	Sebagai sampel yang diukur parameternya
2.	Ikan	Sebagai sampel pengamatan hematologi dan histologi
3.	PP ( <i>Phenol ptyalin</i> )	Sebagai indikator suasana basa dan indikator warna pink
4.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Sebagai pengikat CO <sub>2</sub> bebas di perairan
5.	MO ( <i>Methyl Orange</i> )	Sebagai indikator suasana asam dan indikator warna orange
6.	HCl 0,02 N	Sebagai penyuplai ion H <sup>+</sup> dan sebagai larutan titrasi
7.	Aquades	Sebagai bahan untuk mengetahui jumlah y
8.	Kertas label	Sebagai pembersih alat-alat laboratorium
9.	Kertas saring	Sebagai penanda larutan indikator dan sampel
		Sebagai penyaring air sampel yang akan digunakan

10. Larutan blanko	Sebagai bahan untuk mengkalibrasi spektrofotometer
11. Tissue	Sebagai pembersih alat-alat laboratorium
12. $KMnO_4$	Sebagai oksidator dan sebagai pengikat bahan organik
13. Na-Oxalate	Sebagai reduktor
14. <i>Ammonium molybdate</i>	Sebagai pengikat fosfat di perairan menjadi <i>amonium fosfomolybdate</i>
15. $SnCl_2$	Sebagai indikator warna biru
16. Kerak nitrat	Sebagai sampel yang akan diukur kadar nitratnya
17. $NH_4OH$	Sebagai bahan untuk melarutkan lemak dan suplai ion $H^+$ dan sebagai indikator pembentuk warna kuning
18. $K_2Cr_2O_7$ 0,025 N	Sebagai oksidator
19. Asam Sulfat	Sebagai pencegah kontaminasi
20. Asam fenol disulfonik	Sebagai bahan untuk melarutkan kerat nitrat
21. Formalin 10%	Sebagai pengawet sampel organ ikan
22. <i>Ethylene diamine tetraacetic acid</i> (EDTA)	Sebagai pencegah koagulasi pada sampel darah ikan
23. Larutan Hayem	Sebagai pengencer darah pada pengamatan eritrosit
24. Larutan Turk	Sebagai pengencer darah pada pengamatan leukosit



**Lampiran 3.** Hasil pengukuran parameter kualitas air

**Stasiun 1**

Parameter	Satuan	Sampling 1	Sampling 2	Sampling 3
Suhu	oC	27.20	26.60	27.37
Arus	m/s	0.70	0.60	0.60
Kecerahan	cm	23.7	27.3	28.2
TSS	mg/L	251.33	241.33	243.00
pH		7.03	6.87	7.43
DO	mg/L	4.77	5.10	7.20
TOM	mg/L	38.47	38.83	23.00
COD	mg/L	27.40	28.90	24.00
Nitrat	mg/L	0.76	0.78	0.11
Ortofosfat	mg/L	0.20	0.19	0.12
Alkalinitas	mg/L	140.27	136.70	148.63
Cd	mg/L	0.23	0.27	1.39

**Stasiun 2**

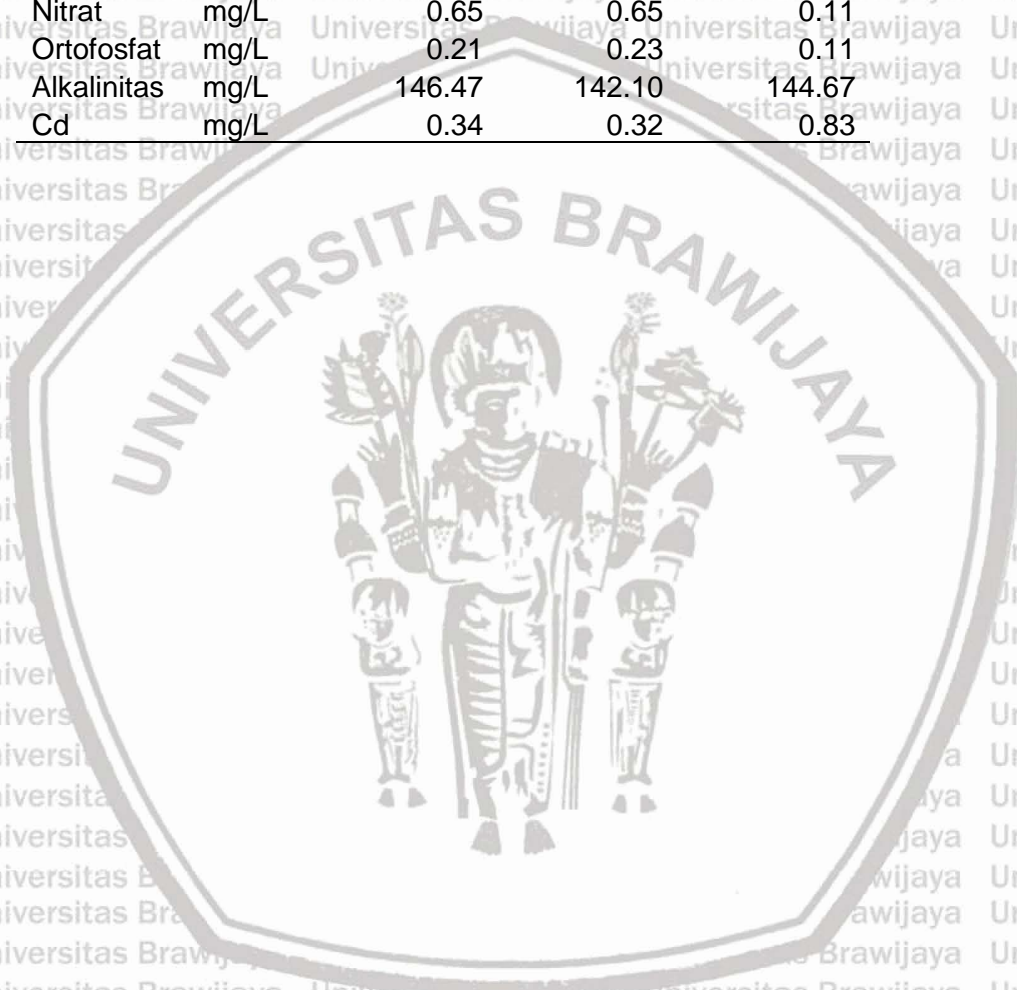
Parameter	Satuan	Sampling 1	Sampling 2	Sampling 3
Suhu	oC	28.03	26.97	27.07
Arus	m/s	0.50	0.40	0.50
Kecerahan	cm	25.1	28.5	30.0
TSS	mg/L	205.00	191.33	217.33
pH		7.23	6.97	7.20
DO	mg/L	4.53	4.90	7.00
TOM	mg/L	43.03	43.73	25.03
COD	mg/L	28.10	29.20	26.50
Nitrat	mg/L	0.58	0.58	0.15
Ortofosfat	mg/L	0.21	0.21	0.11
Alkalinitas	mg/L	142.63	141.43	142.80
Cd	mg/L	0.09	0.15	1.22





**Stasiun 3**

Parameter	Satuan	Sampling 1	Sampling 2	Sampling 3
Suhu	oC	28.43	28.40	28.03
Arus	m/s	0.60	0.50	0.40
Kecerahan	cm	23.2	27.4	31.3
TSS	mg/L	239.33	216.67	198.33
pH		7.43	7.07	7.25
DO	mg/L	4.30	4.47	6.43
TOM	mg/L	47.90	47.70	29.27
COD	mg/L	29.80	29.30	28.10
Nitrat	mg/L	0.65	0.65	0.11
Ortofosfat	mg/L	0.21	0.23	0.11
Alkalinitas	mg/L	146.47	142.10	144.67
Cd	mg/L	0.34	0.32	0.83



Lampiran 4. Skoring penentuan status pencemaran hilir Sungai Rejoso

Stasiun 1

Parameter	Satuan	Baku Mutu PP 22 th 2021 Kls 3	Hasil Pengukuran						Jumlah Skor	
			Min	Skor	Maks	Skor	Rata-rata	Skor		
Fisika	Suhu	oC	28-30	26.60	0	27.37	0	27.06	0	0
	Kecerahan	cm	200	23.70	0	28.20	0	26.40	0	0
	TSS	mg/L	100	241.33	-2	251.33	-2	245.22	-6	-10
Kimia	pH		6-9	6.87	0	7.43	0	7.11	0	0
	DO	mg/L	3	4.77	0	7.20	0	5.69	0	0
	COD	mg/L	40	24.00	0	28.90	0	26.77	0	0
	TOM	mg/L	30	23.00	0	38.83	-4	33.43	-12	-16
	Nitrat	mg/L	20	0.11	0	0.78	0	0.55	0	0
	Ortofosfat	mg/L	1	0.12	0	0.20	0	0.17	0	0
	Alkalinitas	mg/L	75	136.70	-4	148.63	-4	141.87	-12	-20
	Cd	mg/L	0.01	0.23	-4	1.39	-4	0.63	-12	-20
Total Skor									-66	

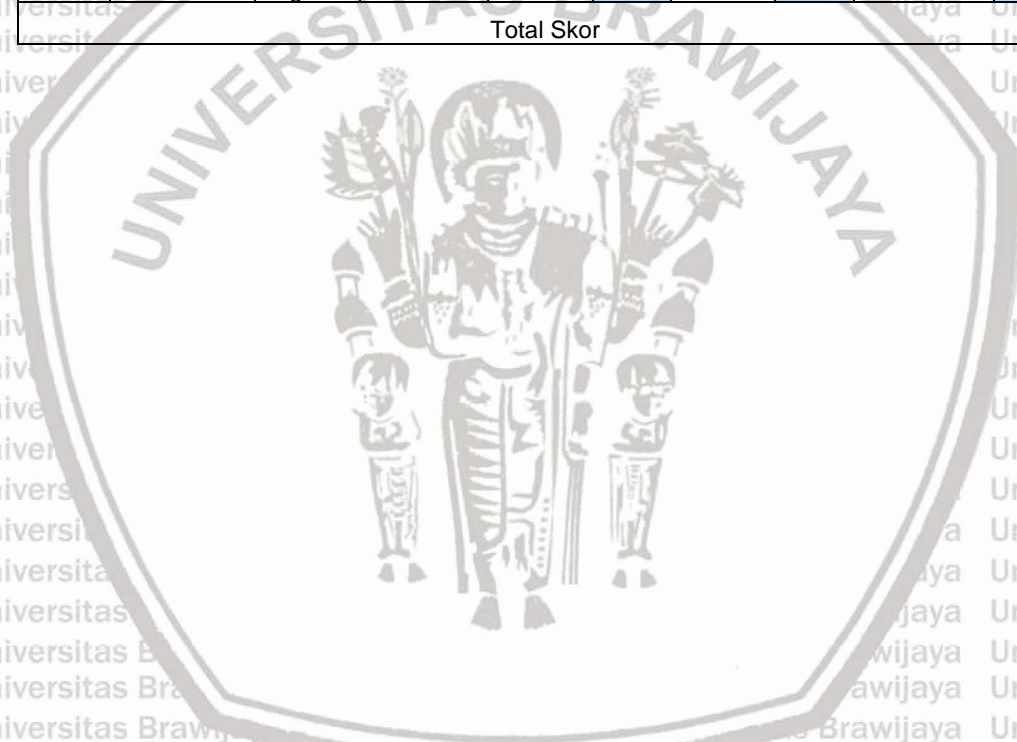
Stasiun 2

Parameter	Satuan	Baku Mutu PP 22 th 2021 Kls 3	Hasil Pengukuran						Jumlah Skor	
			Min	Skor	Maks	Skor	Rata-rata	Skor		
Fisika	Suhu	oC	28-30	26.97	0	28.03	0	27.36	0	0
	Kecerahan	cm	200	25.10	0	30.00	0	27.87	0	0
	TSS	mg/L	100	191.33	-2	217.33	-2	204.56	-6	-10
Kimia	pH		6-9	6.97	0	7.23	0	7.13	0	0
	DO	mg/L	3	4.53	0	7.00	0	5.48	0	0
	COD	mg/L	40	26.50	0	29.20	0	27.93	0	0
	TOM	mg/L	30	25.03	0	43.73	-4	37.27	-12	-16
	Nitrat	mg/L	20	0.15	0	0.58	0	0.44	0	0
	Ortofosfat	mg/L	1	0.11	0	0.21	0	0.44	0	0
	Alkalinitas	mg/L	75	141.43	-4	142.80	-4	144.41	-12	-20
	Cd	mg/L	0.01	0.09	-4	1.22	-4	0.49	-12	-20
Total Skor									-66	



**Stasiun 3**

Parameter	Satuan	Baku Mutu PP 22 th 2021 Kls 3	Hasil Pengukuran						Jumlah Skor	
			Min	Skor	Maks	Skor	Rata-rata	Skor		
Fisika	Suhu	oC	28-30	28.03	0	28.43	0	28.29	0	0
	Kecerahan	cm	200	23.20	0	31.30	0	27.30	0	0
	TSS	mg/L	100	198.33	-2	239.33	-2	218.11	-6	-10
Kimia	pH		6-9	7.07	0	7.43	0	7.25	0	0
	DO	mg/L	3	4.30	0	6.43	0	5.07	0	0
	COD	mg/L	40	28.10	0	29.80	0	29.07	0	0
	TOM	mg/L	30	29.27	0	47.90	-4	41.62	-12	-16
	Nitrat	mg/L	20	0.11	0	0.65	0	0.47	0	0
	Ortofosfat	mg/L	1	0.11	0	0.23	0	0.18	0	0
	Alkalinitas	mg/L	75	142.10	-4	146.47	-4	144.41	-12	-20
	Cd	mg/L	0.01	0.32	-4	0.83	-4	0.50	-12	-20
Total Skor									-66	



Lampiran 5. Data hasil pengamatan parameter hematologi pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

1. Sel darah merah (Eritrosit) (sel/mm<sup>3</sup>)

Ikan	Stasiun		
	1	2	3
1	1170000	1450000	970000
2	1210000	1480000	960000
3	1230000	1500000	1040000
4	1270000	1470000	1220000
5	1180000	1410000	1100000
6	1250000	1390000	1270000
7	930000	1040000	900000
8	960000	940000	1060000
9	920000	880000	1030000
Jumlah	10120000	11560000	9550000
Rata-rata	1124444	1284444	1061111
St.Dev	144577.93	253826.27	120565.80

2. Sel darah putih (Leukosit) (sel/mm<sup>3</sup>)

Ikan	Stasiun		
	1	2	3
1	122750	98550	154350
2	130700	101900	145600
3	118600	93300	156500
4	109100	91950	113250
5	111250	98850	107100
6	106450	104750	109800
7	155650	136300	136400
8	153850	159800	125250
9	159300	160100	133050
Jumlah	1167650	1045500	1181300
Rata-rata	129739	116167	131256
St.Dev	21244.44	28046.35	18742.27



**3. Kadar Hemoglobin (Hb) (g%)**

Ikan	Stasiun		
	1	2	3
1	6	8.5	6
2	6.8	8	7
3	7	7.3	7.2
4	8	8.3	8.2
5	7.4	7.7	7
6	7	7	6
7	4.2	4.7	5.6
8	4.4	4.4	5.6
9	4.3	4.5	5.3
Jumlah	55.1	60.4	57.9
Rata-rata	6	7	6
St.Dev	1.46	1.70	0.96

**4. Mikronuklei (sel/1000)**

Ikan	Stasiun		
	1	2	3
1	24	23	34
2	29	18	28
3	27	23	30
4	30	28	27
5	27	26	31
6	29	22	31
7	39	33	34
8	41	40	32
9	40	37	35
Jumlah	286	250	282
Rata-rata	32	28	31
St.Dev	6.42	7.41	2.74



Lampiran 6. Data hasil pengamatan histologi organ pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

1. Histologi insang

Sampling	Stasiun	Kerusakan			Rata-rata
		Nekrosis	Hiperplasia	Kongesti	
1	1	74.67	78.33	68.33	73.78
	2	63.00	64.67	66.67	64.78
	3	76.00	75.33	66.33	72.56
2	1	54.67	63.33	48.67	55.56
	2	43.33	60.67	44.00	49.33
	3	66.67	63.33	64.00	64.67
3	1	80.33	72.67	77.33	76.78
	2	76.67	76.33	74.00	75.67
	3	59.33	77.67	60.33	65.78

2. Histologi ginjal

Sampling	Stasiun	Kerusakan			Rata-rata
		Nekrosis	Degenerasi	Kongesti	
1	1	43.67	81.67	76.33	67.22
	2	27.33	63.00	57.00	49.11
	3	55.00	87.67	77.67	73.44
2	1	67.33	63.67	67.67	66.22
	2	36.33	73.33	51.67	53.78
	3	74.00	70.00	74.67	72.89
3	1	65.00	88.00	47.00	66.67
	2	54.67	76.00	61.67	64.11
	3	57.33	79.33	47.00	61.22

3. Histologi hati

Sampling	Stasiun	Kerusakan			Rata-rata
		Nekrosis	Degenerasi	Kongesti	
1	1	69.67	82.67	63.67	72.00
	2	63.67	78.67	62.00	68.11
	3	77.67	79.67	66.00	74.44
2	1	87.00	74.00	66.00	75.67
	2	72.67	67.33	60.00	66.67
	3	85.00	83.00	71.33	79.78
3	1	72.00	71.67	77.33	73.67
	2	74.33	72.33	67.00	71.22
	3	72.00	71.67	60.67	68.11



Lampiran 7. Analisis data uji regresi linier sederhana parameter hematologi

1. Kualitas air dengan sel darah merah (Eritrosit)

Total Suspended Solid (TSS)

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.390 <sup>a</sup>	.152	.031	198807.109	.152	1.255	1	7	.299

a. Predictors: (Constant), TSS

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	49618884398	1	49618884398	1.255	.299 <sup>b</sup>
	Residual	2.767E+11	7	39524266673		
	Total	3.263E+11	8			

a. Dependent Variable: Eritrosit  
b. Predictors: (Constant), TSS

Coefficients <sup>a</sup>												
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	1959891.120	719934.611		2.722	.030						
	TSS	-3607.926	3220.075	-.390	-1.120	.299	-.390	-.390	-.390	1.000	1.000	

a. Dependent Variable: Eritrosit

Total Organic Matter (TOM)

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.746 <sup>a</sup>	.556	.493	109154.086	.556	8.781	1	7	.021

a. Predictors: (Constant), TOM

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.046E+11	1	1.046E+11	8.781	.021 <sup>b</sup>
	Residual	83402301448	7	11914614493		
	Total	1.880E+11	8			

a. Dependent Variable: Eritrosit  
b. Predictors: (Constant), TOM

Coefficients <sup>a</sup>											
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	759759.944	156843.368		4.844	.002					
	TOM	12077.253	4075.638	.746	2.963	.021	.746	.746	.746	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Eritrosit



Alkalinitas

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.574 <sup>a</sup>	.329	.233	176822.784	.329	3.436	1	7	.106

a. Predictors: (Constant), Alkalinitas

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.074E+11	1	1.074E+11	3.436	.106 <sup>b</sup>
	Residual	2.189E+11	7	31266297077		
	Total	3.263E+11	8			

a. Dependent Variable: Eritrosit  
b. Predictors: (Constant), Alkalinitas

Coefficients <sup>a</sup>												
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	5912339.075	2566331.238		2.304	.055						
	Alkalinitas	-33290.077	17959.780	-.574	-1.854	.106	-.574	-.574	-.574	1.000	1.000	

a. Dependent Variable: Eritrosit

Kadmium (Cd)

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.805 <sup>a</sup>	.647	.597	128217.528	.647	12.848	1	7	.009

a. Predictors: (Constant), Cd

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.112E+11	1	2.112E+11	12.848	.009 <sup>b</sup>
	Residual	1.151E+11	7	16439734416		
	Total	3.263E+11	8			

a. Dependent Variable: Eritrosit  
b. Predictors: (Constant), Cd

Coefficients <sup>a</sup>											
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	1336873.581	65987.244		20.260	.000					
	Cd	-335095.502	93488.487	-.805	-3.584	.009	-.805	-.805	-.805	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Eritrosit





## 2. Kualitas air dengan sel darah putih (Leukosit)

### Total Suspended Solid (TSS)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.453 <sup>a</sup>	.205	.091	22365.169	.205	1.803	1	7	.221

a. Predictors: (Constant), TSS

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	901872857.7	1	901872857.7	1.803	.221 <sup>b</sup>
	Residual	3501405563	7	500200794.6		
	Total	4403278420	8			

a. Dependent Variable: Leukosit

b. Predictors: (Constant), TSS

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	17431.122	80990.360		.215	.836				1.000	1.000
	TSS	486.415	362.248	.453	1.343	.221	.453	.453	.453	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Leukosit

### Total Organic Matter (TOM)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.799 <sup>a</sup>	.638	.587	12455.805	.638	12.348	1	7	.010

a. Predictors: (Constant), TOM

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1915704392	1	1915704392	12.348	.010 <sup>b</sup>
	Residual	1086029606	7	155147086.6		
	Total	3001733998	8			

a. Dependent Variable: Leukosit

b. Predictors: (Constant), TOM

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	183007.288	17897.731		10.225	.000				1.000	1.000
	TOM	-1634.255	465.080	-.799	-3.514	.010	-.799	-.799	-.799	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Leukosit



Alkalinitas

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.682 <sup>a</sup>	.465	.389	18338.141	.465	6.094	1	7	.043

a. Predictors: (Constant), Alkalinitas

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2049266387	1	2049266387	6.094	.043 <sup>b</sup>
	Residual	2354012033	7	336287433.3		
	Total	4403278420	8			

a. Dependent Variable: Leukosit

b. Predictors: (Constant), Alkalinitas

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-.531118.733	266152.043		-1.996	.086					
	Alkalinitas	4597.926	1862.594	.682	2.469	.043	.682	.682	.682	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Leukosit

Kadmium (Cd)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.790 <sup>a</sup>	.624	.571	15368.978	.624	11.642	1	7	.011

a. Predictors: (Constant), Cd

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2749840039	1	2749840039	11.642	.011 <sup>b</sup>
	Residual	1653438381	7	236205483.0		
	Total	4403278420	8			

a. Dependent Variable: Leukosit

b. Predictors: (Constant), Cd

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	105158.463	7909.656		13.295	.000					
	Cd	38235.295	11206.132	.790	3.412	.011	.790	.790	.790	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Leukosit



### 3. Kualitas air dengan hemoglobin

#### Total Suspended Solid (TSS)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.215 <sup>a</sup>	.046	-.090	1.410	.046	.341	1	7	.578

a. Predictors: (Constant), TSS

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.678	1	.678	.341	.578 <sup>b</sup>
	Residual	13.918	7	1.988		
	Total	14.596	8			

a. Dependent Variable: Hemoglobin

b. Predictors: (Constant), TSS

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	9.391	5.106		1.839	.108					
	TSS	-.013	.023	-.215	-.584	.578	-.215	-.215	-.215	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Hemoglobin

#### Total Organic Matter (TOM)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.878 <sup>a</sup>	.771	.738	.691	.771	23.569	1	7	.002

a. Predictors: (Constant), TOM

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	11.253	1	11.253	23.569	.002 <sup>b</sup>
	Residual	3.342	7	.477		
	Total	14.596	8			

a. Dependent Variable: Hemoglobin

b. Predictors: (Constant), TOM

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	1.734	.993		1.747	.124					
	TOM	.125	.026	.878	4.855	.002	.878	.878	.878	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Hemoglobin

Alkalinitas

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.600 <sup>a</sup>	.360	.269	1.155	.360	3.943	1	7	.087

a. Predictors: (Constant), Alkalinitas

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5.259	1	5.259	3.943	.087 <sup>b</sup>
	Residual	9.337	7	1.334		
	Total	14.596	8			

a. Dependent Variable: Hemoglobin  
b. Predictors: (Constant), Alkalinitas

Coefficients <sup>a</sup>											
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	39.697	16.762		2.368	.050					
	Alkalinitas	-.233	.117	-.600	-1.986	.087	-.600	-.600	-.600	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Hemoglobin

Kadmium (Cd)

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.972 <sup>a</sup>	.945	.937	.340	.945	119.475	1	7	.000

a. Predictors: (Constant), Cd

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13.788	1	13.788	119.475	.000 <sup>b</sup>
	Residual	.808	7	.115		
	Total	14.596	8			

a. Dependent Variable: Hemoglobin  
b. Predictors: (Constant), Cd

Coefficients <sup>a</sup>											
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	7.878	.175		45.062	.000					
	Cd	-2.707	.248	-.972	-10.930	.000	-.972	-.972	-.972	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Hemoglobin



#### 4. Kualitas air dengan mikronuklei

##### Total Suspended Solid (TSS)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.287 <sup>a</sup>	.082	-.049	6.061	.082	.628	1	7	.454

a. Predictors: (Constant), TSS

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	23.060	1	23.060	.628	.454 <sup>b</sup>
	Residual	257.162	7	36.737		
	Total	280.222	8			

a. Dependent Variable: Mikronuklei

b. Predictors: (Constant), TSS

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	13.129	21.949		.598	.569					
	TSS	.078	.098	.287	.792	.454	.287	.287	.287	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Mikronuklei

##### Total Organic Matter (TOM)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.758 <sup>a</sup>	.574	.513	4.130	.574	9.426	1	7	.018

a. Predictors: (Constant), TOM

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	160.802	1	160.802	9.426	.018 <sup>b</sup>
	Residual	119.420	7	17.060		
	Total	280.222	8			

a. Dependent Variable: Mikronuklei

b. Predictors: (Constant), TOM

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	48.166	5.934		8.117	.000					
	TOM	-.473	.154	-.758	-3.070	.018	-.758	-.758	-.758	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Mikronuklei



Alkalinitas

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.838 <sup>a</sup>	.702	.660	2.561	.702	16.515	1	7	.005

a. Predictors: (Constant), Alkalinitas

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	108.313	1	108.313	16.515	.005 <sup>b</sup>
	Residual	45.909	7	6.558		
	Total	154.222	8			

a. Dependent Variable: Mikronuklei

b. Predictors: (Constant), Alkalinitas

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	-37.603	16.548		-2.272	.057						
	Alkalinitas	.464	.114	.838	4.064	.005	.838	.838	.838	1.000	1.000	

a. Dependent Variable: Mikronuklei

Kadmium (Cd)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.933 <sup>a</sup>	.871	.853	2.271	.871	47.348	1	7	.000

a. Predictors: (Constant), Cd

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	244.130	1	244.130	47.348	.000 <sup>b</sup>
	Residual	36.092	7	5.156		
	Total	280.222	8			

a. Dependent Variable: Mikronuklei

b. Predictors: (Constant), Cd

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	24.318	1.169		20.809	.000					
	Cd	11.393	1.656	.933	6.881	.000	.933	.933	.933	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Mikronuklei



Lampiran 8 Analisis data uji regresi linier sederhana histologi organ

1. Kualitas air dengan histologi insang

Total Suspended Solid (TSS)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.462 <sup>a</sup>	.214	.101	3.397	.214	1.902	1	7	.210

a. Predictors: (Constant), TSS

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	21.950	1	21.950	1.902	.210 <sup>b</sup>
	Residual	80.784	7	11.541		
	Total	102.734	8			

a. Dependent Variable: Histologi insang

b. Predictors: (Constant), TSS

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	56.691	8.836		6.416	.000					
	TSS	-.052	.038	-.462	-1.379	.210	-.462	-.462	-.462	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi insang

Total Organic Matter (TOM)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.652 <sup>a</sup>	.425	.343	5.120	.425	5.183	1	7	.057

a. Predictors: (Constant), TOM

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	135.863	1	135.863	5.183	.057 <sup>b</sup>
	Residual	183.482	7	26.212		
	Total	319.345	8			

a. Dependent Variable: Histologi insang

b. Predictors: (Constant), TOM

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	60.997	7.357		8.292	.000					
	TOM	-.435	.191	-.652	-2.277	.057	-.652	-.652	-.652	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi insang



Alkalinitas

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.586 <sup>a</sup>	.344	.250	5.472	.344	3.666	1	7	.097

a. Predictors: (Constant), Alkalinitas

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	109.762	1	109.762	3.666	.097 <sup>b</sup>
	Residual	209.583	7	29.940		
	Total	319.345	8			

a. Dependent Variable: Histologi insang

b. Predictors: (Constant), Alkalinitas

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-22.901	35.357		-.648	.538					
	Alkalinitas	.467	.244	.586	1.915	.097	.586	.586	.586	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi insang

Kadmium (Cd)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.728 <sup>a</sup>	.530	.463	4.629	.530	7.901	1	7	.026

a. Predictors: (Constant), Cd air

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	169.326	1	169.326	7.901	.026 <sup>b</sup>
	Residual	150.019	7	21.431		
	Total	319.345	8			

a. Dependent Variable: Histologi insang

b. Predictors: (Constant), Cd air

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	39.603	2.383		16.622	.000					
	Cd air	9.488	3.375	.728	2.811	.026	.728	.728	.728	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi insang





## 2. Kualitas air dengan histologi ginjal

### Total Suspended Solid (TSS)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.221 <sup>a</sup>	.049	-.087	8.508	.049	.360	1	7	.568

a. Predictors: (Constant), TSS

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	26.048	1	26.048	.360	.568 <sup>b</sup>
	Residual	506.735	7	72.391		
	Total	532.783	8			

a. Dependent Variable: Histologi ginjal

b. Predictors: (Constant), TSS

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	68.269	22.129		3.085	.018				1.000	1.000
	TSS	-.057	.095	-.221	-.600	.568	-.221	-.221	-.221	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi ginjal

### Total Organic Matter (TOM)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.052 <sup>a</sup>	.003	-.140	8.643	.003	.019	1	7	.895

a. Predictors: (Constant), TOM

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.394	1	1.394	.019	.895 <sup>b</sup>
	Residual	522.879	7	74.697		
	Total	524.273	8			

a. Dependent Variable: Histologi ginjal

b. Predictors: (Constant), TOM

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	62.201	12.417		5.009	.002				1.000	1.000
	TOM	.044	.323	.052	.137	.895	.052	.052	.052	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi ginjal



Alkalinitas

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.150 <sup>a</sup>	.022	-.117	8.557	.022	.160	1	7	.701

a. Predictors: (Constant), Alkalinitas

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	11.722	1	11.722	.160	.701 <sup>b</sup>
	Residual	512.551	7	73.222		
	Total	524.273	8			

a. Dependent Variable: Histologi ginjal

b. Predictors: (Constant), Alkalinitas

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	14.174	124.192		.114	.912					
	Alkalinitas	.348	.869	.150	.400	.701	.150	.150	.150	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi ginjal

Kadmium (Cd)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.216 <sup>a</sup>	.047	-.090	8.450	.047	.342	1	7	.577

a. Predictors: (Constant), Cd

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	24.439	1	24.439	.342	.577 <sup>b</sup>
	Residual	499.834	7	71.405		
	Total	524.273	8			

a. Dependent Variable: Histologi ginjal

b. Predictors: (Constant), Cd

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	61.913	4.349		14.236	.000					
	Cd	3.605	6.161	.216	.585	.577	.216	.216	.216	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi ginjal



### 3. Kualitas air dengan histologi hati

#### Total Suspended Solid (TSS)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.587 <sup>a</sup>	.344	.250	3.644	.344	3.672	1	7	.097

a. Predictors: (Constant), TSS

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	48.756	1	48.756	3.672	.097 <sup>b</sup>
	Residual	92.956	7	13.279		
	Total	141.711	8			

a. Dependent Variable: Histologi hati

b. Predictors: (Constant), TSS

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	47.007	13.196		3.562	.009					
	TSS	.113	.059	.587	1.916	.097	.587	.587	.587	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi hati

#### Total Organic Matter (TOM)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.227 <sup>a</sup>	.052	-.084	4.382	.052	.382	1	7	.556

a. Predictors: (Constant), TOM

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7.328	1	7.328	.382	.556 <sup>b</sup>
	Residual	134.384	7	19.198		
	Total	141.711	8			

a. Dependent Variable: Histologi hati

b. Predictors: (Constant), TOM

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	68.403	6.295		10.866	.000					
	TOM	.101	.164	.227	.618	.556	.227	.227	.227	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi hati



Alkalinitas

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.073 <sup>a</sup>	.005	-.137	4.487	.005	.037	1	7	.852

a. Predictors: (Constant), Alkalinitas

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.753	1	.753	.037	.852 <sup>a</sup>
	Residual	140.958	7	20.137		
	Total	141.711	8			

a. Dependent Variable: Histologi hati

b. Predictors: (Constant), Alkalinitas

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	84.780	65.128		1.302	.234					
	Alkalinitas	-.088	.456	-.073	-.193	.852	-.073	-.073	-.073	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi hati

Kadmium (Cd)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.025 <sup>a</sup>	.001	-.142	4.498	.001	.004	1	7	.950

a. Predictors: (Constant), Cd

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.087	1	.087	.004	.950 <sup>a</sup>
	Residual	141.625	7	20.232		
	Total	141.711	8			

a. Dependent Variable: Histologi hati

b. Predictors: (Constant), Cd

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	72.070	2.315		31.133	.000					
	Cd	.214	3.280	.025	.065	.950	.025	.025	.025	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi hati



Lampiran 9. Analisis data uji regresi linier sederhana logam berat Cd organ dan histologi organ

1. Insang

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.885 <sup>a</sup>	.784	.753	4.654	.784	25.356	1	7	.002

a. Predictors: (Constant), Cd organ

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	549.178	1	549.178	25.356	.002 <sup>b</sup>
	Residual	151.611	7	21.659		
	Total	700.789	8			

a. Dependent Variable: Histologi insang

b. Predictors: (Constant), Cd organ

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	52.120	3.258		15.998	.000					
	Cd organ	4.310	.856	.885	5.035	.002	.885	.885	.885	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi insang

2. Ginjal

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.814 <sup>a</sup>	.663	.615	5.026	.663	13.757	1	7	.008

a. Predictors: (Constant), Cd organ

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	347.471	1	347.471	13.757	.008 <sup>b</sup>
	Residual	176.802	7	25.257		
	Total	524.273	8			

a. Dependent Variable: Histologi ginjal

b. Predictors: (Constant), Cd organ

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	54.678	2.987		18.305	.000					
	Cd organ	.692	.187	.814	3.709	.008	.814	.814	.814	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Histologi ginjal



### 3. Hati

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.842 <sup>a</sup>	.708	.666	2.431	.708	16.985	1	7	.004

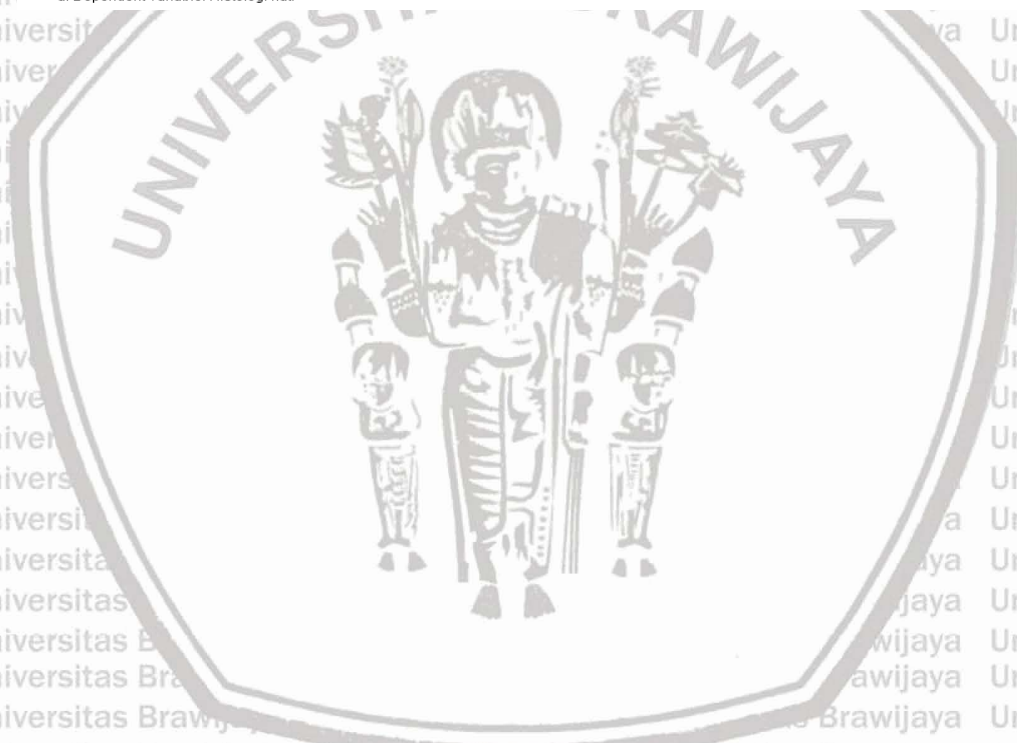
a. Predictors: (Constant), Cd organ

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	100.353	1	100.353	16.985	.004 <sup>b</sup>
	Residual	41.359	7	5.908		
	Total	141.711	8			

a. Dependent Variable: Histologi hati  
b. Predictors: (Constant), Cd organ

Coefficients <sup>a</sup>												
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	68.020	1.295		52.512	.000						
	Cd organ	.190	.046	.842	4.121	.004	.842	.842	.842	1.000	1.000	

a. Dependent Variable: Histologi hati



Lampiran 10. Dokumentasi penelitian di lapang dan di laboratorium



Pengukuran parameter kualitas air (*in situ*)



Pengukuran parameter TOM



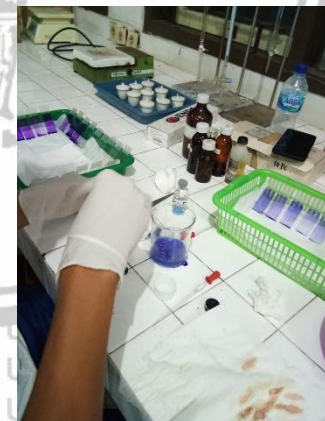
Pengukuran kadar hemoglobin



Pengamatan parameter hematologi



Pengambilan darah ikan nila



Pembuatan preparat mikronuklei



Pengukuran parameter TSS



Sampel histologi organ ikan



Pengamatan parameter nitrat



Pengamatan parameter ortofosfat