

**RANCANG BANGUN ALAT PENDUGA SEDIMEN  
DAN APLIKASINYA DI DAS KHILAU, PROVINSI LAMPUNG**

**(Disertasi)**

**Oleh**

**YUDA ROMDANIA**



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

**RANCANG BANGUN ALAT PENDUGA SEDIMEN  
DAN APLIKASINYA DI DAS KHILAU, PROVINSI LAMPUNG**

**Oleh**

**YUDA ROMDANIA**

**Disertasi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
DOKTOR**

**Pada**

**Program Doktor Ilmu Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## **ABSTRAK**

### **RANCANG BANGUN ALAT PENDUGA SEDIMEN DAN APLIKASINYA DI DAS KHILAU, PROVINSI LAMPUNG**

**Oleh**

**YUDA ROMDANIA**

Sedimen merupakan sejumlah material tanah yang terbawa aliran air sungai dan menyebabkan terjadinya kekeruhan atau penurunan transparansi air. Data sedimen penting untuk diukur, baik sebagai bahan penentu kualitas air maupun yang berkaitan dengan prediksi erosi DAS. Namun, pengambilan data sedimen di sungai relatif sulit dilakukan dan membutuhkan waktu yang lama, sehingga memengaruhi kualitas dan kuantitas data yang didapatkan. Pengukuran secara langsung di lapangan menjadi satu alternatif yang perlu dipertimbangkan mengingat kemajuan teknologi dalam sistem pengukuran sedimen terus meningkat. Tujuan penelitian adalah merancang bangun alat penduga sedimen untuk mempermudah pengukuran sedimen di sungai, mendapatkan hasil uji kalibrasi dan uji konversi alat penduga sedimen, dan mendapatkan hasil validasi alat penduga sedimen. Alat Penduga Sedimen pada penelitian diberi nama N-18 dan dikalibrasi dengan alat SGZ-200. Hasil uji kalibrasi dan uji konversi satuan adalah nilai korelasi sebesar 0,99 dan 0,99 yang mendekati 1. Sebagai validitas, alat N-18 digunakan untuk menghitung konsentrasi sedimen dan kecepatan pada sungai di Bandar Lampung. Alat N-18 diaplikasikan untuk menghitung besarnya sedimen pada DAS Khilau. Pada akhirnya didapatkan Alat Penduga Sedimen N-18 yang terkalibrasi dengan baik, konversi satuan berhasil dilakukan dari NTU ke ppm, alat dapat beroperasi dengan baik dan digunakan untuk menduga sedimen.

Kata kunci: Penduga Sedimen, Alat Penduga Sedimen, N-18, NTU, ppm

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF SEDIMENT ESTIMATOR AND ITS APPLICATION IN KHILAU WATERSHED, LAMPUNG PROVINCE**

**By**

**YUDA ROMDANIA**

Sediment is the amount of soil material that is carried by river water and causes turbidity or a decrease in water transparency. Sediment data is important to measure, both as a determinant of water quality and in relation to watershed erosion prediction. However, collecting sediment data in rivers is relatively difficult and takes a long time, which affects the quality and quantity of data obtained. Direct measurement in the field is an alternative that needs to be considered considering that technological advances in sediment measurement systems continue to increase. The purpose of the research is to design a sediment estimator to facilitate the measurement of sediment in the river, get the results of the calibration test and conversion test of the sediment estimator, and get the results of the validation of the sediment estimator. The Sediment Estimator Tool in the study was named N-18 and calibrated with the SGZ-200 tool. The results of the calibration test and unit conversion test are correlation values of 0.99 and 0.99 which are close to 1. As validity, the N-18 tool is used to calculate sediment concentration and velocity in rivers in Bandar Lampung. The N-18 tool was applied to calculate the amount of sediment in the Khilau watershed. In the end, it was obtained that the N-18 Sediment Estimator Tool was well calibrated, the unit conversion was successfully carried out from NTU to ppm, the tool could operate properly and be used to estimate sediment..

**Keywords:** Sediment Estimator, Sediment Estimator Tool, N-18, NTU, ppm

Judul Disertasi : **RANCANG BANGUN ALAT PENDUGA  
SEDIMEN DAN APLIKASINYA DI DAS  
KHILAU, PROVINSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **YUDA ROMDANIA**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1834171001

Program Studi : **Doktor Ilmu Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**

**MENYETUJUI**

1. Promotor

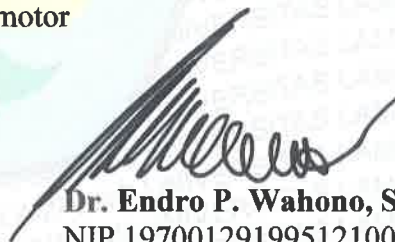


**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**  
NIP 196110201986031002

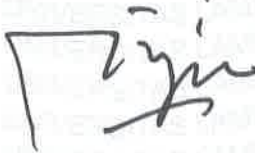
2. Co-Promotor



**Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.**  
NIP 196412231994031003

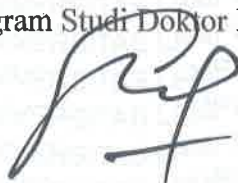


**Dr. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.**  
NIP 197001291995121001



**Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**  
NIP 196112111987031004

3. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian



**Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.**  
NIP 196412231994031003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.



Anggota : Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.



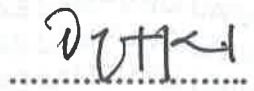
Dr. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.



Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.



Penguji Non-Pembimbing : Prof. Dr. Dyah Indriyana K., S.T., M.Sc.



Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.  
NIP. 196110201986031002

3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.  
NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Disertasi : 23 Agustus 2023

## PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan/atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 23 Agustus 2023  
Penulis,



Yuda Romdania  
NPM. 1834171001

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 7 November 1970, sebagai anak keempat dari sebelas bersaudara Keluarga Yusuf Syukur dan Haidatina. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Negeri 2 Teladan pada tahun 1983, Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Tanjungkarang pada tahun 1986 dan Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Tanjungkarang pada tahun 1989. Pada tahun 1989 Penulis diterima menjadi Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan D3 Teknik Sipil pada Program Studi Sipil Hidro, Fakultas Teknik Universitas Lampung dan selesai pada tahun 1992. Setengah tahun kemudian, pada tahun 1993 Penulis melanjutkan kuliah Alih Program di Teknik Sipil-S1 Fakultas Teknik Universitas Lampung pada Program Studi Sipil Hidro.

Selain menjadi dosen juga menjadi Tenaga Ahli pada beberapa Perusahaan dan bekerja sama dengan Yayasan Badak Indonesia (YABI) dalam perencanaan konservasi badak.

Riset yang dilakukan berjudul ***Rancang Bangun Alat Penduga Sedimen dan Aplikasinya di DAS Khilau, Provinsi Lampung***. Karya ilmiah yang terkait dengan disertasi ini telah dipublikasikan yaitu pada Jurnal Teknologi (Science and Engineering) Universiti Teknologi Malaysia Artikel 19618, 2023 dengan judul ***Designing The Technology for Turbidity Sensor-Based Automatic river sedimentation measurement***.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan keberkahan, rahmat dan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan penelitian dan penyusunan disertasi yang berjudul “**Rancang Bangun Alat Penduga Sedimen dan Aplikasinya di DAS Khilau, Provinsi Lampung**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor Ilmu Pertanian di Universitas Lampung. Penyusunan disertasi ini tidak terlepas dari keterlibatan berbagai pihak. Oleh karena itu dengan kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung dan Promotor yang bersedia membimbing penulis dalam menyelesaikan disertasi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S., selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian dan Co-Promotor atas ide penelitian, bimbingan, motivasi, saran dan masukan terhadap penulis dalam menyelesaikan disertasi ini;
5. Bapak Dr. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc., selaku Co-Promotor atas ide penelitian, bimbingan, motivasi, saran dan masukan terhadap penulis dalam menyelesaikan disertasi ini;
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc., selaku Co-Promotor atas ide penelitian, bimbingan, motivasi, saran dan masukan terhadap penulis dalam menyelesaikan disertasi ini;
7. Ibu Prof. Dr. Dyah Indriyana K., S.T., M.Sc., selaku Pembahas atas motivasi, saran dan masukan hingga terselesaikannya disertasi ini;

8. Ibu Rahma Yanda, S.Si., M.Eng., Ph.D. selaku Penguji Kelayakan Disertasi atas saran dan masukan serta motivasi terhadap penulisan disertasi ini;
9. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Program Doktor Ilmu Pertanian yang telah memberikan ilmu dan wawasan kepada penulis selama kuliah;
10. Bapak Prof. Dr. Ir. Hamim Sudarsono, M.Sc., sebagai Ketua Program Doktor Ilmu Pertanian tahun 2014-2019.
11. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., serta teman-teman sejawat di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian yang telah memberikan dukungan dan motivasi terhadap pelaksanaan penelitian dan penyelesaian disertasi;
12. Keluarga tercinta, suamiku, Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T., dan anak-anakku Ipda Irfan Muzaffar Sondani, S.Tr.K., Arif Mahasin Sondani, S.Ak., M.Sc. dan Fadh Falih Rousel Sondani serta Keluarga Besar yang selalu memberikan semangat, senyuman, dukungan dan kesabaran serta doanya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan penelitian dan disertasi dengan lancar;
13. Rekan-rekan yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung dalam penelitian khususnya mahasiswa-mahasiswi bimbingan skripsi, Tim Laboratorium Hidroteknik dan Tim Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung;
14. Pemberi dana DIPA BLU UNILA serta semua pihak yang telah membantu baik dalam pelaksanaan maupun penulisan disertasi ini.

Penulis sangat menyadari bahwa disertasi ini jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun serta dapat memberikan manfaat bagi penulis pribadi dan bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 2023  
Penulis,

**Yuda Romdania**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xi</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Nilai Kebaruan dan Kedalaman .....	6
1.6 Publikasi .....	6
1.7 Kerangka Pikir .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>8</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	8
2.1.1 <i>Low-Cost Turbidity Sensor for Low-Power Wireless Monitoring of Fresh-Water Courses</i> .....	8
2.1.2 <i>Erosion Prediction with Sediment Delivery Ratio Approach of Sekampung Watershed (Study in Watershed of Sekampung – Argoguruh Dam) (Banuwa et al., 2016)</i> .....	9
2.1.3 <i>An Affordable Open-Source Turbidimeter (Kelley et al., 2014)</i> .....	9
2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	10
2.3 Sedimen dan Sedimentasi .....	10
2.3.1 Hasil Sedimen ( <i>Sediment Yield</i> ).....	11
2.3.2 <i>Sediment Delivery Ratio (SDR)</i> .....	11
2.3.3 Laju Sedimen di Sungai .....	12
2.3.4 Alat Penduga Sedimen Otomatis .....	13
2.4 Kekeruhan .....	15

2.5	Kalibrasi .....	15
2.6	Konversi Ke Satuan ppm .....	16
2.7	Validasi Alat.....	16
2.8	Distribusi Kecepatan .....	17
2.9	Distribusi Sedimen .....	17
2.10	Waktu Konsentrasi .....	18
2.11	Intensitas Hujan.....	19
2.12	Debit Air.....	19
2.13	Debit Angkutan Sedimen .....	20
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>		<b>21</b>
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian .....	21
3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	22
3.3	Tahapan Penelitian .....	22
3.4	Perancangan Alat .....	27
3.3.1	Perancangan Perangkat Keras .....	28
3.3.2	Perancangan Perangkat Lunak .....	29
3.3.3	Perakitan Alat .....	30
3.3.4	Pengujian Alat .....	30
3.3.5	Validasi Alat.....	32
3.5	Variabel dan Analisis Data Penelitian.....	32
3.4.1	Variabel Penelitian .....	32
3.4.2	Analisis Data .....	33
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>37</b>
4.1	Alat Penduga Sedimen N-18.....	37
4.2	Prosedur Pengoperasian Alat .....	40
4.3	Limitasi Pengoperasian Alat N-18.....	43
4.4	Kelebihan dan Kekurangan Alat N-18.....	44
4.5	Data Kekeruhan Air dengan Alat .....	45
4.6	Data Kekeruhan Air Hasil Laboratorium .....	48
4.7	Kalibrasi Alat Ukur Sedimen Tersuspensi .....	50
4.8	Faktor Konversi.....	52
4.9	Validasi Alat Penduga Sedimen N-18.....	54

<b>V. APLIKASI ALAT PENDUGA SEDIMEN N-18.....</b>	<b>56</b>
5.1 Distribusi Kecepatan .....	56
5.2 Distribusi Sedimen .....	63
5.3 Analisis Hidrologi .....	68
5.3.1 Data Curah Hujan.....	68
5.3.2 Intensitas Hujan.....	68
5.3.3 Koefisien Aliran (C).....	69
5.3.4 Luas DAS (A) .....	69
5.3.5 Perhitungan Debit Air (Qa).....	69
5.4 Debit Angkutan Sedimen .....	78
5.5 Sedimen Delivery Ratio (SDR).....	83
5.6 Hasil Sedimen (Sediment Yield).....	83
5.7 Analisis Hasil Perhitungan Aplikasi Alat Penduga Sedimen N-18 .....	84
<b>VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>85</b>
6.1 Kesimpulan .....	85
6.2 Saran .....	86
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>91</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	7
2. a. Peta Lokasi DAS Khilau. ....	23
b. Peta lokasi penelitian (DAS Khilau) .....	23
3. Lokasi pengambilan data (Bandar Lampung).....	25
4. Bagan alir tahapan penelitian. ....	26
5. Langkah perancangan alat N-18.....	28
6. Gambar alat .....	29
a. <i>Mikrokontroler Arduino Uno seri ATmega328.</i>	
b. <i>Turbidity Sensor tipe TS-300B.</i>	
c. <i>Water Flow Sensor tipe YF-S201 0,5 inch.</i>	
d. <i>Real Time Clock (RTC) and Position Sensor tipe Ublox m6.</i>	
e. <i>Data logger shield RTC V1.0</i>	
7. Turbiditymeter Nephelometer Jenis SGZ-200BS.....	31
8. Bagan alir tahapan aplikasi alat.....	26
9. Diagram komponen Alat N-18.....	37
10. Desain container Alat N-18.....	38
11. Diagram sirkuit Alat N-18. ....	38
12. Alat Penduga Sedimen N-18.....	39
13. Menghubungkan alat dengan Power Supply.....	41
14. Memeriksa lampu LED. ....	41
15. Membersihkan alat setelah dipakai dalam air. ....	42
16. Mematikan alat dengan mencabut power supply. ....	42
17. Mengambil sd card dari alat. ....	43
18. Pengujian alat N-18 di sungai. ....	46
19. Perbandingan hasil pengukuran turbiditas air. ....	46
20. Perbandingan galat antara N-18 dan SGZ-200. ....	47
21. Piknometer .....	48
22. Neraca digital .....	48

23. Hubungan Turbiditymeter SGZ-200 dan N-18.....	51
24. Hubungan hasil pengukuran alat dengan laboratorium.....	52
25. Grafik distribusi kecepatan dari .....	55
26. Penempatan alat pendeteksi elevasi. ....	56
27. Distribusi kecepatan selama 30 hari.....	60
28. Grafik analisis distribusi kecepatan terhadap pengukuran.....	61
29. Grafik analisis distribusi kecepatan terhadap pengukuran dan teori.....	62
30. Distribusi sedimen selama 30 hari. ....	66
31. Grafik rating curve dari data 30 hari dan penampang sungai. ....	77
32. Penampang sungai DAS Khilau pada 10-02-2022.....	79
33. Hubungan antara Qs dengan D. ....	82
34. Penampang sungai Way Khilau pada 11-02-2022.....	130
35. Penampang sungai Way Khilau pada 12-02-2022.....	130
36. Penampang sungai Way Khilau pada 14-02-2022.....	130
37. Penampang sungai Way Khilau pada 15-02-2022.....	131
38. Penampang sungai Way Khilau pada 16-02-2022.....	131
39. Penampang sungai Way Khilau pada 17-02-2022.....	131
40. Penampang sungai Way Khilau pada 18-02-2022.....	132
41. Penampang sungai Way Khilau pada 19-02-2022.....	132
42. Penampang sungai Way Khilau pada 21-02-2022.....	132
43. Penampang sungai Way Khilau pada 22-02-2022.....	133
44. Penampang sungai Way Khilau pada 23-02-2022.....	133
45. Penampang sungai Way Khilau pada 24-02-2022.....	133
46. Penampang sungai Way Khilau pada 25-02-2022.....	134
47. Penampang sungai Way Khilau pada 26-02-2022.....	134
48. Penampang sungai Way Khilau pada 27-02-2022.....	134
49. Penampang sungai Way Khilau pada 28-02-2022.....	135
50. Penampang sungai Way Khilau pada 01-03-2022.....	135
51. Penampang sungai Way Khilau pada 02-03-2022.....	135
52. Penampang sungai Way Khilau pada 03-03-2022.....	136
53. Penampang sungai Way Khilau pada 04-03-2022.....	136
54. Penampang sungai Way Khilau pada 05-03-2022.....	136

55. Penampang sungai Way Khilau pada 06-03-2022 .....	137
56. Penampang sungai Way Khilau pada 07-03-2022 .....	137
57. Penampang sungai Way Khilau pada 08-03-2022 .....	137
58. Penampang sungai Way Khilau pada 09-03-2022 .....	138
59. Penampang sungai Way Khilau pada 10-03-2022 .....	138
60. Penampang sungai Way Khilau pada 11-03-2022 .....	138
61. Penampang sungai Way Khilau pada 12-03-2022 .....	139
62. Penampang sungai Way Khilau pada 13-03-2022 .....	139
63. Perakitan Alat N-18 di Laboratorium Hidroteknik Unila .....	140
64. Pengujian Alat N-18 pada sungai di Bandar Lampung .....	140
65. Pengambilan data dengan N-18 di Way Khilau .....	141
66. Validasi kecepatan alat N-18 pada sungai di Bandar Lampung .....	141
67. Kondisi Sungai di DAS Khilau tahun 2019 .....	142
68. Pengaturan alat pelengkap di lapangan .....	142
69. Dokumen laporan uji <i>sieve analysis</i> .....	143
70. Dokumen grafik hasil pengujian <i>sieve analysis</i> .....	144
71. Grafik analisis distribusi kecepatan dengan penelitian Hauet .....	145



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Hasil Pengukuran Kekerusuhan .....	45
2. Data Hasil Uji Laboratorium.....	49
3. Perbandingan Nilai Hasil Pengukuran Satuan NTU dan Satuan ppm .....	50
4. Hasil Perbandingan Uji Laboratorium dan N-18 Setelah Konversi Satuan..	54
5. Hasil Pengukuran Kecepatan dengan Alat N-18.....	55
6. Data Pengukuran Selama 30 Hari .....	57
7. Perhitungan $U^*$ Pada Distribusi Kecepatan .....	59
8. Perhitungan Galat Kecepatan Hasil Pengukuran dan Analisis .....	62
9. Perhitungan Nilai Z.....	64
10. Kesimpulan Hasil Kecepatan dan Konsentrasi Sedimen 30 Hari .....	67
11. Perhitungan Intensitas Hujan Pada 30 Hari Waktu Pengambilan.....	70
12. Perhitungan Debit Air ( $Q_a$ ) Selama 30 Hari .....	72
13. Perhitungan Baseflow .....	73
14. Perhitungan $Q_w$ selama 30 Hari .....	74
15. Perhitungan Rating Curve dari Data Penampang .....	75
16. Perhitungan Rating Curve dari Data Pengukuran 30 hari.....	76
17. Perhitungan Galat Rating Curve Hasil Pengukuran dan Penampang .....	77
18. Perhitungan Debit Angkutan Sedimen Selama 30 Hari.....	80
19. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 10-02-2022 .....	92
20. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 11-02-2022 .....	92
21. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 12-02-2022 .....	92
22. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 14-02-2022 .....	93
23. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 15-02-2022 .....	93
24. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 16-02-2022 .....	93
25. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 17-02-2022 .....	94
26. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 18-02-2022 .....	94

27. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 19-02-2022 .....	94
28. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 21-02-2022 .....	95
29. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 22-02-2022 .....	95
30. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 23-02-2022 .....	95
31. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 24-02-2022 .....	96
32. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 25-02-2022 .....	96
33. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 26-02-2022 .....	96
34. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 27-02-2022 .....	97
35. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 28-02-2022 .....	97
36. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 01-03-2022 .....	97
37. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 02-03-2022 .....	98
38. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 03-03-2022 .....	98
39. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 04-03-2022 .....	98
40. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 05-03-2022 .....	99
41. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 06-03-2022 .....	99
42. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 07-03-2022 .....	99
43. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 08-03-2022 .....	99
44. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 09-03-2022 .....	100
45. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada: 10-03-2022 .....	100
46. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 11-03-2022 .....	100
47. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 12-03-2022 .....	101
48. Perhitungan Distribusi Kecepatan Pada 13-03-2022 .....	101
49. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 10-02-2022 .....	101
50. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 11-02-2022 .....	102
51. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 12-02-2022 .....	102
52. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 14-02-2022 .....	102
53. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 15-02-2022 .....	103
54. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 16-02-2022 .....	103
55. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 17-02-2022 .....	103
56. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 18-02-2022 .....	104
57. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 19-02-2022 .....	104
58. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 21-02-2022 .....	104

59. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 22-02-2022 .....	105
60. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 23-02-2022 .....	105
61. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 24-02-2022 .....	105
62. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 25-02-2022 .....	106
63. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 26-02-2022 .....	106
64. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 27-02-2022 .....	106
65. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 28-02-2022 .....	107
66. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 01-03-2022 .....	107
67. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 02-03-2022 .....	107
68. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 03-03-2022 .....	108
69. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 04-03-2022 .....	108
70. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 05-03-2022 .....	108
71. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 06-03-2022 .....	109
72. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 07-03-2022 .....	109
73. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 08-03-2022 .....	109
74. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 09-03-2022 .....	110
75. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada: 10-03-2022 .....	110
76. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 11-03-2022 .....	110
77. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 12-03-2022 .....	111
78. Perhitungan Distribusi Sedimen Pada 13-03-2022 .....	111
79. Perhitungan Kedalaman Selama Satu Tahun .....	111
80. Perhitungan Debit Angkutan Sedimen Selama Satu Tahun.....	120

## DAFTAR NOTASI

a	= Level referensi (m)
A	= Luas
C	= Koefisien pengaliran
Ca	= Konsentrasi referensi yang berjarak a dari titik referensi (g/L)
Cs	= Konsentrasi sedimen (g/L)
D	= Kedalaman aliran (m)
E	= Besaran erosi yang termuat (ton/ha/th)
Galat	= Persentase galat (%)
I	= Intensitas hujan (mm/jam)
k	= Konstanta ( $24 \times 60 \times 60 = 86400$ detik)
K	= Konstanta Von Karman
L	= Panjang lintasan sungai (km)
m	= Nilai hasil Alat Penduga Sedimen N-18 (NTU)
n	= Nilai hasil Turbiditymeter SGZ-200 (NTU)
NTU	= Satuan kekeruhan
ppm	= Satuan konsentrasi sedimen
Qa	= Debit air ( $m^3/s$ )
Qb	= Debit <i>baseflow</i> ( $m^3/s$ )
Qs	= Debit angkutan sedimen (ton/ha/th)
Qw	= Debit air total ( $m^3/s$ )
$R^2_4$	= Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)
S	= Kemiringan sungai
SDR	= Angka pengangkutan sedimen
t	= Lamanya hujan (jam)
$t_c$	= Waktu konsentrasi (jam)
$U^*$	= Kecepatan geser (m/s)
v	= Kecepatan air (m/s)
$W_s$	= Kecepatan jatuh partikel /endap sedimen suspensi (m/s)
y	= Titik pengukuran vertikal diukur ke permukaan dari dasar (m)
Y	= Hasil sedimen (Sedimen Yield) (ton/ha/th)
z	= Jarak dari dasar profil kecepatan vertikal (m)
Z	= Parameter Rouse (Rouse Number)
$z_0$	= Parameter kekasaran butiran ( $d_{90}$ ) (mm)

## DAFTAR ISTILAH

<i>Arduino Sketch</i>	= Bahasa pemrograman arduino
<i>Baseflow</i>	= Aliran dasar pada sungai
<i>Bed load</i>	= Partikel sedimen yang bergerak di dasar sungai
<i>Container</i>	= Wadah alat
<i>Direct download</i>	= Pengunduhan data secara langsung
<i>GPS</i>	= Penentuan suatu posisi
<i>Inner region</i>	= Wilayah dekat dasar saluran
<i>Latitude-Longitude</i>	= Sistem koordinat
<i>LED photodiode</i>	= Alat pendeteksi cahaya
<i>Lock on position</i>	= Keadaan menyala
<i>Logger</i>	= Alat elektronik untuk mencatat data
<i>Micro sd</i>	= <i>sd card</i> yang berukuran kecil
<i>Opensource</i>	= Alat pengukur kekeruhan
<i>Outer region</i>	= Wilayah jauh dari dasar saluran
<i>Output</i>	= Hasil/keluaran
<i>Power supply</i>	= Alat untuk menyediakan daya listrik ke sebuah atau lebih perangkat
<i>Rating curve</i>	= Grafik hubungan kedalaman aliran dengan debit air
<i>Rouse number</i>	= Parameter rouse dalam perhitungan distribusi sedimen
<i>Sd Card</i>	= Tempat penyimpanan data
<i>Sensor proximity</i>	= Sensor tanpa kontak fisik
<i>Sieve analysis</i>	= Uji saringan butiran
<i>Software spreadsheet</i>	= Aplikasi komputer yang mensimulasikan lembar kerja Kertas
<i>Suspended load</i>	= Partikel sedimen yang melayang di sungai
<i>Suspended Solution</i>	= Kekeruhan sungai
<i>The Law of the wall</i>	= Rumus distribusi kecepatan logaritmik
<i>Turbiditymeter</i>	= Alat pengukur kekeruhan
<i>Turbidity sensor</i>	= Sensor pendeteksi kekeruhan
<i>Undisturb sample</i>	= Kondisi pengambilan sampel tidak terganggu
<i>User-friendly</i>	= Mudah diaplikasikan
<i>Velocity</i>	= Kecepatan
<i>Waterflow sensor</i>	= Sensor untuk mengukur debit air yang mengalir
<i>Weathering</i>	= Pelapukan

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah area daratan yang terdiri dari sungai dan anak-anak sungainya yang secara alami menyimpan, menampung, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut. Batas di darat adalah pemisah topografis, dan di laut sampai area perairan yang masih terpengaruh oleh aktivitas daratan (PP 37, 2014). DAS seharusnya dikelola dengan baik karena DAS mempunyai fungsi yang sangat penting dalam lingkungan. Penggunaan sumber daya alam di DAS secara rasional untuk mendapatkan hasil yang sebanyak-banyaknya dalam waktu yang tidak terbatas, seharusnya diiringi dengan penekanan kerusakan lahan sesedikit mungkin dan penjagaan laju pengeluaran air yang merata sepanjang tahun (Banuwa dkk., 2008). Berbagai laporan menunjukkan bahwa kegagalan DAS dalam menjalankan fungsinya sebagai penyangga lingkungan terbukti dapat menyebabkan terjadinya bencana alam seperti banjir. Bencana alam yang banyak terjadi selama ini diperkirakan merupakan pengaruh dari kegagalan pengelolaan DAS.

Menurut (Juniyanti dkk., 2020) tutupan lahan adalah permukaan fisik lahan, sedangkan penggunaan lahan adalah ekspresi dan interaksi antara aktivitas manusia dan lingkungannya yang berusaha untuk membuat lingkungannya sesuai dengan kehidupan dan kebutuhan. Penggunaan lahan merupakan faktor utama penyebab dari perubahan lingkungan global. Dalam (Sunandar, 2016) salah satu penyebab kerusakan DAS adalah intensifnya perubahan tataguna lahan dari hutan lindung menjadi lahan pertanian dan perkebunan. Perubahan tata guna lahan mendorong rusaknya

kondisi DAS, yang terlihat pada penurunan daya penyerapan air oleh tanah (infiltrasi). Penurunan daya infiltrasi tanah akan meningkatkan limpasan air permukaan, sehingga menyebabkan terjadinya, erosi tanah, sedimentasi, dan banjir pada DAS. Penggunaan lahan dan sistem hidrologi juga merupakan suatu sistem yang saling terkait dimana penggunaan lahan memengaruhi proses intersepsi hujan dan evapotranspirasi yang memengaruhi terhadap penyimpanan dan aliran air.

Sedimen merupakan sejumlah material tanah terbawa aliran air sungai dari proses erosi di bagian hulu dan diendapkan di bagian hilir sungai saat aliran air melambat atau terhenti. Besarnya sedimen dipengaruhi oleh sifat fisik suatu DAS (Andriyani dkk., 2019). Laju sedimen adalah jumlah tanah dan komponen tanah yang diangkut oleh air dari suatu lokasi yang mengalami erosi di sepanjang aliran sungai ke dalam sungai atau badan air lainnya. (Djajusman *et al.*, 2020). Nilai laju sedimen suatu DAS sangat penting untuk perencanaan pengelolaan DAS karena dapat digunakan untuk menentukan strategi konservasi tanah dan air yang akan memastikan nilai laju sedimen sesuai dengan yang direncanakan (Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai [BPTKPDAS], 2021).

Pengukuran sedimen selama ini membutuhkan beberapa proses dan aktivitas dan analisis air yang membutuhkan waktu lama, sehingga memengaruhi kualitas dan kuantitas data yang didapatkan (Andawayanti, 2019, seperti alat yang dibuat oleh (Kelley et al., 2014) dan SGZ-200 yang mengharuskan pengambilan sampel untuk pengukurannya. Pencatatan data pada pengukuran ini berisiko hilang dan tidak terekam dengan baik, sehingga perlu adanya sistem yang mempermudah pelaksanaan pengukuran dan dapat mengelola pencatatan data sedimen air yang tersimpan rapi dalam *database*. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian yang merancang alat pengukur sedimen menggunakan jenis sensor kekeruhan *in situ* (*turbidity sensor*) dan penggunaannya menjadi populer (Ariadi dkk., 2018; Mulyana dan Hakim, 2018). Rancangan ini terbukti mampu untuk mengatasi permasalahan yang selama ini ada di lapangan.

Sedimen menyebabkan terjadinya kekeruhan atau penurunan transparansi air. Akibat kekeruhan, arah jalur cahaya yang ditransmisikan di dalam air akan mengalami perubahan saat mengenai partikel yang ada di air. Jika kekeruhan berada pada level rendah, maka cahaya yang tersebar menjauh dari arah aslinya menjadi sedikit. Analisis sedimen yang artinya analisis kekeruhan dapat dilakukan dengan studi sifat optik yang menyebabkan cahaya melalui air tersebar dan diserap oleh partikel koloidal dan tersuspensi, bukan ditransmisikan dalam garis lurus (Barus, 2020). Partikel seperti lumpur, tanah liat, alga, bahan organik, dan mikroorganisme dapat dideteksi dengan cahaya di dalam aliran atau air (Noor dkk., 2019).

*Turbidity sensor* dan *arduino sketch* dapat digunakan untuk mengumpulkan data tingkat kekeruhan (*opaqueness*) sebagai pendugaan sedimen dalam air. Cara kerjanya adalah mengukur transmisi cahaya dan laju hamburan melalui pengamatan cahaya yang mendeteksi partikel tersuspensi dalam air, kemudian nilainya dibandingkan terhadap jumlah total padatan tersuspensi (TSS) di air. Sensor kekeruhan bekerja mirip dengan *sensor proximity* yang memiliki LED *photodiode* sebagai pemancar dan penerima. Sensor ini menggunakan cahaya yang dipancarkan oleh LED dan kemudian sensor membaca cahaya yang dipantulkan. Jadi, dengan terdeteksinya tingkat kekeruhan air yang tinggi maka akan lebih sedikit pantulan cahaya, dan sebaliknya (Aprilia dan Ariyanti, 2021). Selanjutnya data secara otomatis terekam ke sistem menggunakan *memory card* yang terpasang pada alat. Data dapat diakses melalui komputer maupun *smartphone* dengan mengubah data yang tercatat pada *memory card* menjadi bahasa data menggunakan program yang dibuat dengan bahasa C *System Arduino Sketch*.

Sistem kerja ini, telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti pada Sistem Alat Ukur Kekeruhan Berbasis Mikrokontroler ATmega16A-PU (Ariadi dkk., 2018), dan *Prototype of Water Turbidity Monitoring System* (Mulyana and Hakim, 2018). Pengembangan penggunaan sensor pendeteksi kekeruhan air, juga dilakukan oleh beberapa peneliti lain yang



juga melakukan penelitian dengan konsep optik sebagai landasan penelitiannya, yaitu *Low-Cost Turbidity Sensor for Low-Power Wireless Monitoring of Fresh-Water Courses* (Wang *et al.*, 2018), Rancang Bangun Alat Ukur Kekeruhan Air Menggunakan Fototransistor dan LED Inframerah Berbasis Arduino Uno (Suliyani dkk., 2021), dan Peringatan Dini Banjir Berdasarkan Tingkat Kekeruhan Air Hulu Sungai Dengan Turbidity Sensor SEN0189 dan Transceiver nRF24L01+ (Ammari dkk., 2019). Pengukuran yang dilakukan mayoritas menggunakan metode pengambilan sampel air di lapangan, meskipun sampel tidak diuji di laboratorium.

Tujuan penelitian adalah merancang bangun alat penduga sedimen untuk mempermudah pengukuran sedimen di sungai, mendapatkan hasil uji kalibrasi dan uji konversi alat penduga sedimen, dan mendapatkan hasil validasi alat penduga sedimen. Kemudahan yang didapatkan dari alat yaitu proses pengukuran dan pengunduhan data secara langsung di lapangan. Hasil dari alat ini dapat digunakan untuk mengestimasi erosi. Penduga sedimen ini, merupakan terobosan dalam teknologi pengukuran yang secara otomatis memvariasikan keluaran cahaya sehingga kekeruhan dapat diukur secara independen dari cahaya latar dan penyimpangan elektronik. Selain mengukur kekeruhan yang diaplikasikan sebagai dugaan besarnya sedimen, alat penduga sedimen dapat mengukur kecepatan aliran dan melakukan pencatatan lokasi serta waktu yang real, sebagai kelebihan alat ini sehingga pengambilan data yang dapat dilakukan langsung di lokasi. Dengan demikian diharapkan masa mendatang pendugaan besarnya sedimen dapat dilakukan dengan lebih mudah, praktis dan penyimpanan data dapat dilakukan dengan rapi dan lebih baik.

Selanjutnya sebagai upaya validasi alat, dilakukan analisis perbandingan antara data hasil pengukuran alat dan hasil perhitungan dengan menggunakan rangkaian data. Sebagai pembanding, digunakan data erosi dari hasil penelitian tim *Capacity Development for Implementing Rio Conventions through Enhancing Incentive Mechanisms for Sustainable Watershed/Land Management* (CCCD) tahun 2018.

Metode komparatif untuk memperkirakan besarnya sedimen dalam aliran air dengan pengukuran langsung di sungai ataupun berdasarkan pendekatan nilai *sediment delivery ratio* (SDR) pada DAS dari perkiraan laju erosi yang terjadi di DAS (Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai [BPTKPDAS], 2021). Debit transpor sedimen suspensi diperoleh melalui cara konvensional dengan pengambilan sampel air bercampur sedimen (*suspended load*) dan menghitung konsentrasi sedimennya. Sampel tersebut dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan konsentrasi sedimen menggunakan cara penguapan dan penyaringan. Hasil kedua perhitungan tersebut kemudian dibandingkan. Dengan demikian dapat diketahui tingkat validitas alat pengukur sedimen tersebut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan permasalahan yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil rancang bangun alat penduga sedimen untuk mempermudah pengukuran sedimen di sungai?
2. Bagaimana hasil uji kalibrasi dan uji konversi alat penduga sedimen?
3. Bagaimana validasi alat penduga sedimen?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian adalah:

1. Rancang bangun alat penduga sedimen untuk mempermudah pengukuran sedimen di sungai.
2. Mendapatkan hasil uji kalibrasi dan uji konversi alat penduga sedimen.
3. Mendapatkan hasil validasi alat penduga sedimen.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian sebagai berikut:

1. Mempersingkat proses pengambilan data sedimen dan kecepatan aliran di sungai sehingga lebih efisien dan data tersimpan dengan baik.
2. Diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif dalam pengembangan alat penduga sedimen dengan teknologi terkini yang dapat dimanfaatkan peneliti maupun instansi terkait.

### **1.5 Nilai Kebaruan dan Kedalaman**

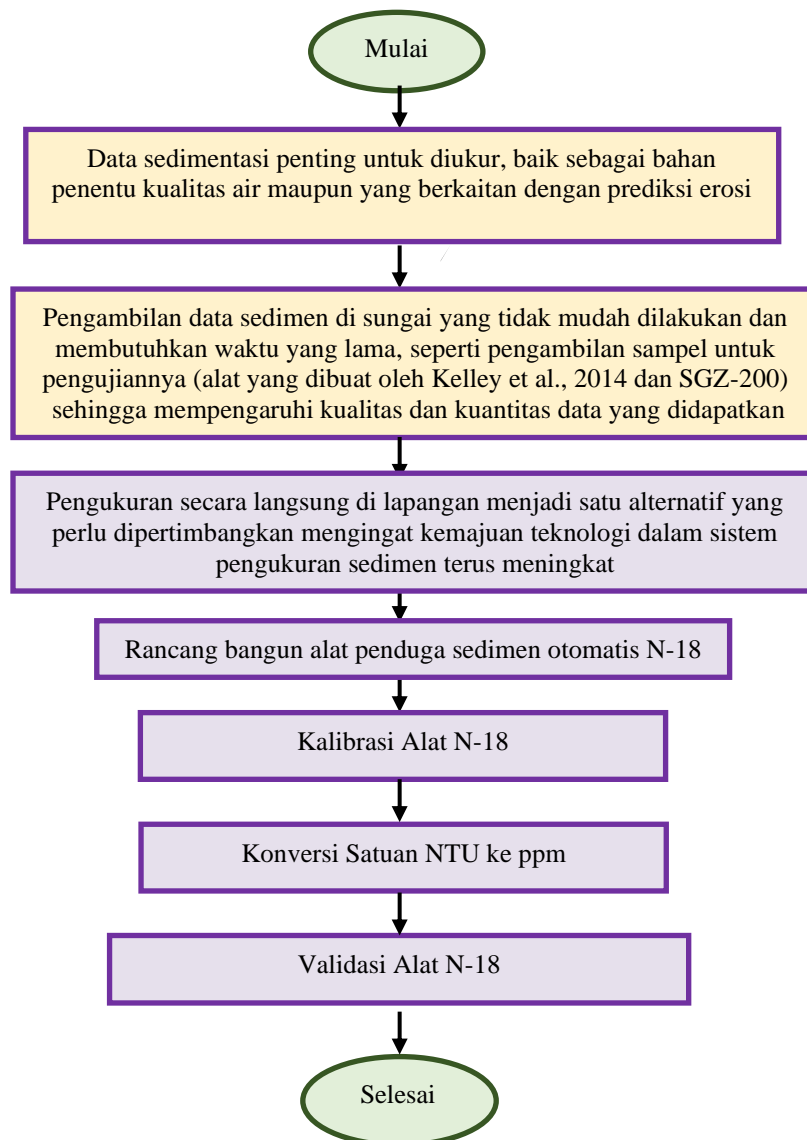
Penelitian yang dilaksanakan merupakan sumbangan baru (mempunyai nilai *novelty*) bagi perkembangan ilmu pengetahuan terutama di bidang pengelolaan DAS dengan didapatkannya Alat Penduga Sedimen N-18, dengan ciri khas rangkaian komponen dan program pengubahan data kekeruhan. Alat ini juga mudah diaplikasikan (*user-friendly*), dan pengunduhan data langsung (*direct download*).

### **1.6 Publikasi**

Hasil penelitian akan dipublikasikan pada Jurnal Teknologi (*Science and Engineering*) Universiti Teknologi Malaysia nomor artikel 19618 pada 20 Agustus 2023 dengan judul “*Designing The Technology for Turbidity Sensor-Based Automatic River Sedimentation Measurement*”

### **1.7 Kerangka Pikir**

Kerangka pikir penelitian didasarkan ketika melihat kondisi sistem pengukuran sedimen sampai dengan saat ini yang membutuhkan beberapa tahap yang lama dan sulit dilakukan, maka terciptanya sebuah pemikiran untuk membuat sebuah alat yang mampu mengukur sedimen secara langsung di lokasi tanpa butuh waktu yang lama. Rancang bangun alat dilakukan melalui proses perancangan, kalibrasi, dan uji validasi, sehingga alat siap diaplikasikan. Kerangka pikir dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

#### 2.1.1 *Low-Cost Turbidity Sensor for Low-Power Wireless Monitoring of Fresh-Water Courses*

Hal ini didasarkan pada data penelitian tentang desain alat sensor kekeruhan berbiaya rendah untuk pemantauan kualitas air yang berkelanjutan (Wang *et al.*, 2018). Bagi para peneliti di bidang pertanian dan lingkungan, pengukuran kekeruhan dibatasi oleh biaya dan kemampuan produk yang tersedia secara komersial. Kemunculan perangkat keras dan protokol nirkabel baru-baru ini telah mengarah pada pengembangan sistem pemantauan kekeruhan air yang cerdas dengan jaringan berskala besar dan penggunaan sensor yang tidak mahal. Sensor ini menggunakan prinsip pemancaran cahaya ortogonal ( $90^\circ$ ) dan harganya dua sampai tiga kali lebih murah daripada sensor kekeruhan saat ini.

Dengan menggunakan LED inframerah 850nm dan dua fotodetektor ortogonal, instrumen ini dapat mengukur kekeruhan antara 0 hingga 1000 NTU dengan akurasi dan ketahanan yang lebih baik. Kombinasi sel cahaya yang ditransmisikan secara ortogonal memberikan resolusi tinggi. Hasil percobaan kalibrasi menunjukkan bahwa hasil kekeruhan dari desain sensor yang dirancang memiliki nilai yang setara dengan sensor kekeruhan yang tersedia di pasar.

### **2.1.2 *Erosion Prediction with Sediment Delivery Ratio Approach of Sekampung Watershed (Study in Watershed of Sekampung – Argoguruh Dam) (Banuwa et al., 2016)***

Erosi merupakan suatu permasalahan yang terjadi di DAS Sekampung. Jumlah sedimen yang masuk ke sungai akan meningkat sebagai akibat dari laju erosi. DAS Sekampung sangat berkontribusi di Provinsi Lampung karena digunakan untuk menyuplai air ke PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum), sumber irigasi, dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA), sehingga jumlah sedimen yang terbawa aliran sungai perlu diteliti. Tujuan penelitian adalah untuk memperkirakan erosi di DAS Sekampung. Dua metode yang digunakan untuk memperkirakan erosi yaitu SDR (*Sediment Delivery Ratio*) dan USLE (*Universal Soil Loss Equation*), yang keduanya dihitung dengan menggunakan *software* sistem informasi geografis. Estimasi erosi dengan metode USLE adalah 112,86 ton/ha/tahun, sementara estimasi erosi dengan metode SDR adalah 58,49 ton/ha/tahun.

### **2.1.3 *An Affordable Open-Source Turbidimeter (Kelley et al., 2014)***

Kriteria umum yang diterima untuk menentukan kualitas air minum adalah kekeruhan, karena partikel koloid dalam air keruh dapat terdiri dari bakteri, antioksidan, dan mendegradasi antibiotik dari sinar ultraviolet. Alat elektronik/optik yang digunakan untuk mengukur hamburan cahaya yang melewati sampel air yang mengandung partikel koloid disebut juga alat penduga sedimen. Alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan di pasar bisnis berharga ratusan hingga ribuan dolar, sehingga tidak terjangkau oleh masyarakat kalangan bawah di seluruh dunia. Turbidimeter *open-source* yang murah dirancang dan diproduksi sebagai instrumen optik dan dievaluasi terhadap pengukur kekeruhan yang dapat dijual

secara umum. Produk akhir ini didasarkan pada penelitian ekstensif dan bertujuan sebagai kontribusi pada peningkatan lebih lanjut dalam pengelolaan air dan sanitasi.

## 2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai adalah area daratan yang dibatasi oleh punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan, yang kemudian dialirkan ke laut melalui sungai utama (UU No 17 tahun 2019 tentang SDA). DAS mengalami kerusakan akibat degradasi lahan setiap tahunnya. Hal ini disebabkan oleh jumlah penduduk yang terus meningkat, sehingga penggunaan lahan dan air pun semakin tinggi (Setyaningsih dkk., 2018). DAS dapat mengalami kerusakan pada komponen biofisik dan kualitas air. Tanda-tanda kerusakan tersebut dapat terlihat dari berkurangnya luas hutan dan degradasi lahan, terutama pada kawasan lindung di daerah aliran sungai, serta meningkatnya erosi lahan (Banuwa, 2016).

## 2.3 Sedimen dan Sedimentasi

Sedimen adalah material yang diendapkan oleh proses alami, seperti sekresi oleh organisme atau presipitasi secara kimia, atau yang berasal dari perombakan batuan yang lebih tua dan diangkut oleh air, udara, dan es. Selain itu, sedimen juga dapat berasal dari proses *weathering* batuan.

Sedangkan menurut (Istiarto, 2019), sedimentasi adalah proses di mana batuan yang telah diangkut oleh air atau angin diendapkan di daerah aliran air. Saat pengikisan terjadi, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Sedimentasi disebabkan oleh erosi karena erosi tanah melibatkan proses pengendapan agregat tanah dan pemindahan atau pengangkutan tanah oleh air yang menyebabkan sedimen berpindah ke tempat lain. Agregat tanah yang terangkut oleh aliran air dan kemudian diendapkan secara sementara atau permanen di suatu tempat dalam bentuk

sedimen. Jumlah dan kecepatan sedimen yang diangkut dari lokasi pengukuran dapat menjelaskan tingkat erosi tanah yang terjadi di sungai.

Sedimentasi memiliki banyak dampak. Pengendapan sedimen akan menyebabkan volume efektif sungai dan waduk berkurang. Sungai-sungai yang mengalir ke waduk memberikan kontribusi sedimen terbanyak, dan hanya sebagian kecil yang berasal dari longsor tebing waduk atau limpasan permukaan dari tebingnya (Cahyono dkk., 2017). Selain itu, sedimentasi yang terbawa air sungai membuat kualitas air berkurang, membuatnya tidak dapat digunakan langsung untuk keperluan rumah tangga.

### 2.3.1 Hasil Sedimen (*Sediment Yield*)

Sedimen adalah hasil dari proses erosi seperti erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen biasanya diendapkan di kaki bukit, genangan banjir, sungai, anak sungai, dan waduk. Jumlah produksi sedimen tergantung pada jumlah erosi di dalam DAS dan pengangkutan tanah yang tererosi keluar dari DAS.

Rumus estimasi hasil sedimen yang digunakan yaitu berdasarkan rumus sebagai berikut (Asdak, 1995):

$$Y = E (SDR) \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

Y = Hasil Sedimen (ton/ha/th)

E = Besaran Erosi yang termuat (ton/ha/th)

SDR = *Sediment Delivery Ratio* (Angka Pengangkutan Sedimen)

### 2.3.2 *Sediment Delivery Ratio (SDR)*

*Sediment Delivery Ratio (SDR)* adalah nilai perbandingan jumlah sedimen yang terangkut pada badan air atau sungai dengan jumlah erosi yang terjadi di hulu DAS. Jika SDR mendekati nilai 1, artinya semua tanah yang tererosi masuk ke dalam sungai.



Sebaliknya, jika SDR mendekati nilai nol, artinya hanya sedikit erosi yang masuk ke sungai, yang menunjukkan bahwa DAS tersebut berada dalam kategori baik. Jika pengukuran sedimen secara langsung di lapangan tidak mungkin pada suatu DAS, satu-satunya cara untuk mengetahui berapa banyak sedimen yang dihasilkan adalah dengan menghitung nilai SDR daerah tangkapan air berdasarkan hasil analisis tingkat erosi. Perhitungan nilai SDR pada tiap DAS didasarkan pada persamaan atau rumus berikut ini (Gourfi *et al.*, 2018):

$$\text{SDR} = -0,02 + 0,385 A^{-0,2} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

SDR = Angka Pengangkutan Sedimen

A = Luas DAS (ha)

### 2.3.3 Laju Sedimen di Sungai

Laju sedimen adalah jumlah material tanah yang dibawa aliran sungai per satuan luas daerah tangkapan air (DTA) atau daerah aliran sungai (DAS) per satuan waktu (dalam satuan ton/ha/tahun atau mm/tahun). Laju sedimen adalah nilai penting untuk perencanaan DAS. Berdasarkan nilai tersebut, metode konservasi tanah dan air yang tepat dapat digunakan untuk menentukan langkah-langkah penyelesaian.

Dalam aplikasi di lapangan, muatan sedimen, debit sedimen dan laju angkutan sedimen adalah sama. Estimasi angkutan sedimen akan memperkirakan jumlah angkutan sedimen di bawah kondisi aliran yang stabil seperti aliran yang lancar secara terus menerus. Laju sedimen di sungai dapat ditentukan dengan mengukur sedimen di outlet sungai. Penting untuk memahami proses pengukuran sedimen sungai.

### 2.3.4 Alat Penduga Sedimen Otomatis

Pengangkutan sedimen di sungai disebabkan oleh arus dan terkait dengan erosi tanah akibat curah hujan. Air yang meresap ke dalam tanah dapat menyebabkan tanah longsor, yang kemudian mengalir ke sungai, menyebabkan efek besar pada aliran air di sungai. Keseluruhan proses ini merupakan interaksi antara erosi tanah > transportasi sedimen > pengendapan.

Data sedimen penting untuk diukur, baik sebagai bahan penentu kualitas air maupun yang berkaitan dengan prediksi erosi DAS. Namun dalam kaitannya dengan pengukuran transport sedimen, pengambilan data sedimen dan karakteristik aliran di sungai yang dilakukan selama ini memiliki permasalahan (Mama, 2018). Pengambilan data sedimen di sungai sulit dilakukan dan membutuhkan waktu yang lama, sehingga mempengaruhi kualitas dan kuantitas data yang didapatkan. Pengukuran debit fluvial di sungai yang sulit karena berkaitan dengan fluktuasi debit, tingginya variabilitas lahan dan debit sedimen. Akibatnya sistem pengukuran sedimen dengan cara pengambilan sampel sedimen tersuspensi menjadi tidak praktis. Terutama pada saat banjir, dimana sebagian besar debit sedimen sungai terbawa (75%), sehingga pengambilan sampel secara terus menerus selama periode banjir yang relatif singkat jarang dilakukan.

Tidak ada metodologi standar tunggal untuk mengatasi fenomena pengukuran sedimen pada kenyataannya, ada keterikatan berbeda antar metode. Pengukuran tak langsung, atau pengambilan sampel di lapangan dan diuji di laboratorium, adalah metode pengukuran sedimen yang banyak digunakan. Metode ini menghasilkan nilai perbandingan kandungan sedimen terhadap zat cair sebagai nilai kuantitas sedimen. Hal ini sulit dilakukan untuk kondisi lapangan yang tidak mendukung serta membutuhkan

ketelitian yang cukup, karena pengambilan sampel tidak boleh dilakukan dalam kondisi terganggu (*undisturb sample*).

Pengukuran secara langsung di lapangan menjadi satu alternatif yang perlu dipertimbangkan mengingat kemajuan teknologi dalam sistem pengukuran sedimen terus meningkat. Penawaran yang diberikan adalah kemudahan pengambilan data, waktu yang singkat, dan kemudahan penyimpanan data serta pengolahan datanya. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian yang merancang alat pengukur sedimen menggunakan jenis sensor kekeruhan in situ (*turbidity sensor*) telah muncul dan penggunaannya menjadi populer, seperti alat pengukur kekeruhan SENO189 (Hakim *et al.*, 2019). Beberapa peneliti lain menggunakan konsep optik sebagai landasan penelitian mereka untuk mengembangkan sensor pendeteksi kekeruhan air. Mereka mengukur kadar kepadatan terlarut, kekeruhan, dan pH air dengan arduino (Dewiani dkk., 2018), card (mmc) sebagai media penyimpanan (Rachmansyah dkk., 2018) dengan fotodiode menggunakan LCD sebagai tampilan, yang dikendalikan ATmega328, Sensor Ultrasonik HC-SR04 dengan mikrokontroler. Sensor Ultrasonik untuk deteksi posisi jarak pada ruang menggunakan Arduino Uno (Arasada dan Suprianto, 2017), (Suaif dkk., 2017) dengan *Wireless System* menggunakan Spektroskopi, dan peringatan dini banjir berdasarkan tingkat kekeruhan air hulu sungai dengan Turbidity Sensor SENO189 dan Transceiver nRF24L01+ (Ammari dkk., 2019). Pengukuran yang dilakukan mayoritas menggunakan metode pengambilan sampel air di lapangan, meskipun sampel tidak diuji di laboratorium.

Pada penelitian, dibuat satu set alat yang mampu mendeteksi sejumlah padatan tersuspensi di dalam air dan karakteristik aliran secara otomatis sehingga dapat meringankan kerja dalam pengambilan data sedimen di sungai. Alat yang dirancang mampu menduga sedimen, kecepatan aliran, dan sekaligus penentuan posisi pengambilan sampel dengan sistem sensor dan GPS, diberi nama N-

18. Metode yang digunakan lebih simpel, karena pengukuran dilakukan langsung di lokasi, data terekam dengan baik dalam *memory*, dan dilakukan secara kontinyu.

## 2.4 Kekeruhan

Kekeruhan adalah suatu parameter untuk mengetahui kejernihan air. air bersih. Kekeruhan adalah sifat optis yang dihasilkan dari pembiasan cahaya ke dalam air. (Ammari dkk., 2019). Tingkat kekeruhan yang tinggi pada air akan membuat cahaya sulit menembus air karena air memiliki partikel-partikel kecil berbentuk butiran. Kekeruhan dapat diukur dengan menggunakan alat *turbidimeter*. Kekeruhan yang diukur dapat dalam skala NTU (Nephelometrix Turbidity Unit), JTU (Jackson Turbidity Unit), atau FTU (Formazin Turbidity Unit).

## 2.5 Kalibrasi

Berdasarkan dengan Pedoman ISO/IEC 17025:2005, kalibrasi adalah nilai yang dihasilkan oleh zat pengukur, sistem pengukuran, atau alat ukur sehubungan dengan nilai yang diketahui yang terhubung ke unit yang diukur dalam keadaan tertentu. Dengan kata lain, kalibrasi adalah proses membuktikan kebenaran konvensional nilai alat ukur yang dibuat dengan membandingkannya dengan standar ukur yang sesuai standar nasional dan/atau internasional untuk satuan ukuran. Tujuan kalibrasi adalah untuk memastikan kepastian pengukuran. Perbandingan berkelanjutan diperlukan untuk proses menghubungkan data pengukuran ke standar yang lebih tepat, seperti standar nasional dan/atau internasional.

Pengujian kerja alat dilakukan dengan cara kalibrasi alat terhadap alat lain yang sejenis. Pengujian bisa dilakukan dengan pengambilan sampel di beberapa tempat dan membandingkan hasilnya dalam bentuk model persamaan untuk mengubahnya satuannya.

## 2.6 Konversi Ke Satuan ppm

Pengubahan satuan dalam konversi merupakan kegiatan pengubahan satuan dari suatu besaran ke satuan lainnya, menggunakan faktor konversi satuan. Kegiatan konversi dilakukan jika satuan yang akan diubah dan satuan pengubah adalah satuan dari suatu besaran yang sama (Sarti dan Suwardoyo, 2022). Untuk menambah kevaliditasan, maka diperlukan pembandingan lain sebagai parameter kelayakan fungsi alat ukur. Maka konversi satuan dipandang sebagai salah satu parameter tambahan yang tepat untuk melihat perilaku dari alat penduga sedimen.

## 2.7 Validasi Alat

Validasi merupakan tindakan perlakuan penilaian pada parameter tertentu dengan dasar percobaan di laboratorium, sebagai pembuktian bahwa parameternya memenuhi persyaratan penggunaannya (Harmita, 2004). Validitas untuk mengukur sejauhmana apa yang dimaksudkan untuk diukur (Ihsan, 2015). Validasi bertujuan sebagai pengurangan variasi potensi kesalahan dalam proses pembuatan instrumen. Metodologi validasi akan bervariasi tergantung pada sumber potensial ketidaktepatan dalam konsepsi teoritis yang berbeda, fungsi penilaian, dan metodologi penilaian. Penyebab kesalahan antara konstruk teoritis, metode asesmen, dan fungsi asesmen bisa berbeda-beda, sehingga metode validasi pun akan berbeda pula (Haynes *et al.*, 1995).

Validitas alat ini dilakukan dengan menambahkan persamaan hasil faktor konversi satuan NTU ke ppm pada pemrograman alat. Selanjutnya dilakukan pengukuran pada beberapa sungai di Bandar Lampung. Selain itu, validasi alat juga dilakukan dengan membandingkan hasil analisis distribusi kecepatan dari data 30 hari dengan distribusi kecepatan dari pengambilan data per 0,05 m menggunakan alat pada sungai di Bandar Lampung.

## 2.8 Distribusi Kecepatan

Faktor-faktor seperti bentuk dan kekasaran saluran memengaruhi distribusi kecepatan aliran. Saluran terbuka memiliki permukaan bebas, dan gesekan pada dinding sepanjang saluran menyebabkan distribusi kecepatan aliran tidak sama pada penampang saluran. Saluran dengan dasar licin dan arus yang besar atau deras dan dangkal menghasilkan kecepatan maksimum pada permukaan bebas. (Suciana dkk., 2016).

Menurut beberapa penelitian, distribusi kecepatan terbagi menjadi dua wilayah yaitu *inner region* dan *outer region* (Purnama, 2016). Kekasaran dasar, sifat aliran, tegangan geser, dan kedalaman di dasar saluran berdampak langsung pada pada wilayah *inner region* yang berada di dekat dasar saluran dan distribusi kecepatan logaritmik berlaku (Nezu and Rodi, 2019; Kironoto et al., 1995).

Rumus distribusi kecepatan logaritmik (*The Law of The Wall*) pada daerah *inner region* dapat dirumuskan sebagai berikut (Hauet, 2018):

$$\frac{v}{U^*} = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- v = Kecepatan lokal rata-rata searah aliran
- U\* = Kecepatan geser
- k = Konstanta Von Karman (k ≈ 0,4)
- z = Jarak dari dasar profil kecepatan vertikal
- z<sub>0</sub> = Parameter kekasaran butiran

## 2.9 Distribusi Sedimen

Untuk menghitung distribusi sedimen, diperlukan pemahaman tentang persamaan Rouse (Giarto dkk., 2020), yang didasarkan pada distribusi kecepatan logaritmik. Dengan asumsi bahwa koefisien difusi sedimen sama dengan koefisien transfer momentum, persamaan yang disarankan adalah sebagai berikut:

$$\frac{C_s}{C_a} = \left[ \frac{D-y}{y} \frac{a}{D-a} \right]^Z \text{ dengan } Z = \frac{W_s}{k U^*} \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

$C_s$  = Konsentrasi sedimen

$C_a$  = Konsentrasi referensi yang berjarak a dari titik referensi

$D$  = Kedalaman aliran (m)

$y$  = Titik pengukuran vertikal diukur ke permukaan dari dasar (m)

$a$  = Level referensi (m)

$Z$  = Parameter Rouse (*Rouse Number*)

$W_s$  = Kecepatan jatuh partikel /endap sedimen suspensi (m/s)

$U^*$  = Kecepatan geser

$k$  = Konstanta Von Karman ( $k \approx 0,4$ )

Lalu, rumus untuk mencari kecepatan jatuh partikel sedimen tersuspensi ( $W_s$ ) dapat dicari dengan rumus (Mubarak, 2016) sebagai berikut:

$$W_s = -4e^{-7}C_s^2 + 1,93e^{-5}C_s - 0,0001314 \dots\dots\dots (5)$$

dimana:

$W_s$  = kecepatan jatuh sedimen, (m/s)

$C_s$  = konsentrasi sedimen ( $\text{kg/m}^3$ )

## 2.10 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi merupakan jumlah waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh di tanah ke saluran terdekat dan tiba di titik yang ditinjau. Perhitungan waktu konsentrasi memengaruhi besar kecilnya nilai intensitas hujan ( $I$ ) yang terjadi. Nilai intensitas hujan berkorelasi dengan debit saluran, sehingga memengaruhi dimensi saluran. Rumus Kirpich digunakan untuk waktu konsentrasi dengan mempertimbangkan kemiringan saluran (Triatmodjo, 2008)

$$t_c = \frac{0,6628L^{0,77}}{s^{0,385}} \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

- $t_c$  = Waktu konsentrasi (jam)  
 $L$  = Panjang lintasan dari titik pusat DAS sampai yang ditinjau (km)  
 $S$  = Kemiringan saluran

### 2.11 Intensitas Hujan

Untuk menghitung debit, intensitas curah hujan sangat penting; metode rasional bergantung pada lamanya hujan. Intensitas hujan dapat dihitung dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode mononobe (Triadmojo, 2008). Rumus metode ini adalah:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots\dots\dots (7)$$

dimana:

- $I$  = Intensitas hujan untuk lama hujan  $t$  (mm/jam)  
 $R_{24}$  = Curah hujan maksimum selama 24 jam  
 $t$  = Lamanya hujan (jam)

### 2.12 Debit Air

Metode yang sering digunakan untuk memperkirakan debit air yaitu metode rasional. Sungai-sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luas dan perencanaan drainase wilayah keduanya dapat menggunakan rumus ini (Hasan dkk., 2018). Koefisien pengaliran, intensitas hujan, dan luas daerah pengaliran digunakan untuk menghitung metode rasional sebagai berikut:

$$Q_a = C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

- $Q_a$  = Debit air ( $m^3/s$ )  
 $C$  = Koefisien pengaliran  
 $A$  = Luas daerah pengaliran ( $Km^2$ )  
 $I$  = Intensitas hujan (mm/jam)



### 2.13 Debit Angkutan Sedimen

Persamaan untuk mencari debit angkutan sedimen berdasarkan (Cahyono, 2017) adalah sebagai berikut:

$$Q_s = k \cdot C_s \cdot Q_a \quad \dots\dots\dots (9)$$

dimana:

$Q_s$  = Debit angkutan sedimen (gr/hari)

$C_s$  = Konsentrasi sedimen (gr/m<sup>3</sup>)

$Q_a$  = Debit Air (m<sup>3</sup>/s) = Kecepatan aliran (v) × Luas Penampang (A)

k = Konstanta (24 x 60 x 60 = 86400 s)

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Lokasi perakitan Alat Penduga Sedimen N-18 dilakukan di Laboratorium Hidroteknik Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Sedangkan lokasi pengambilan sampel untuk kalibrasi dilakukan di 8 titik di sungai yang berlokasi di Kota Bandar Lampung.

1. Sungai Way Awi yang berada di Jl. Sultan Selamat Kedamaian
2. Sungai Way Awi yang berada di Jl. Ki Maja Way Halim
3. Sungai Way Awi yang berada di Jl. Riduan Rais Kedamaian
4. Sungai Buaya yang berada di Jl. Pagar Alam 237 Langkapura
5. Sungai Buaya yang berada di Saleh Raja Kusuma
6. Sungai Way Belau yang berada di Jl. Griya Sederhana
7. Sungai Putih yang berada di Jl. Lambang
8. Sungai Putih yang berada di Jl. Timbai

Lokasi penelitian untuk pengukuran data aplikasi alat dilaksanakan di DAS Khilau, Provinsi Lampung. Lokasi validasi alat untuk sedimen dilakukan di empat lokasi pada Sungai di Bandar Lampung yaitu

1. Sungai Way Belau yang berada di Jl. Griya Sederhana
2. Sungai Putih yang berada di Jl. Lambang
3. Sungai Way Awi yang berada di Jl. Ki Maja Way Halim
4. Sungai Buaya yang berada di Jl. Pagar Alam 237 Langkapura

Lokasi validasi alat untuk kecepatan dilakukan di hilir Sungai Way Khilau yang berada di daerah Sumur Putri, Bandar Lampung.

Lokasi penelitian dan lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

Pelaksanaan penelitian dibagi dalam rangkaian waktu sebagai berikut:

1. Perakitan alat dilaksanakan pada Bulan Agustus–September 2019,
2. Pengambilan sampel untuk kalibrasi dilakukan 5-10 Januari 2021
3. Pengambilan data pengukuran di Way Khilau dilakukan dari 10 Februari 2022 sampai 13 Maret 2022.
4. Pengambilan data untuk validasi penduga sedimen dilakukan pada 19 Juni 2023.
5. Pengambilan data untuk validasi kecepatan dilakukan pada 3 Agustus 2023

### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Alat yang digunakan adalah laptop untuk pengolahan data, Turbiditymeter SGZ-200 untuk kalibrasi alat, komponen penyusun alat N-18 (Mikrokontroler Arduino Uno seri ATmega328, Turbidity Sensor tipe TS-300B, Water Flow Sensor tipe YF-S201 0,5 inch, Real Time Clock (RTC) , Position Sensor tipe Ublox m6, data logger shield RTC V1.0. Software GIS (*Geographic Information System*) untuk pembuatan peta, kamera untuk dokumentasi, perkakas untuk perakitan alat dan *stand*, wadah pengambilan sampel, alat untuk pengujian sampel air di Laboratorium Mekanika Tanah (Oven, neraca digital, dan piknometer),

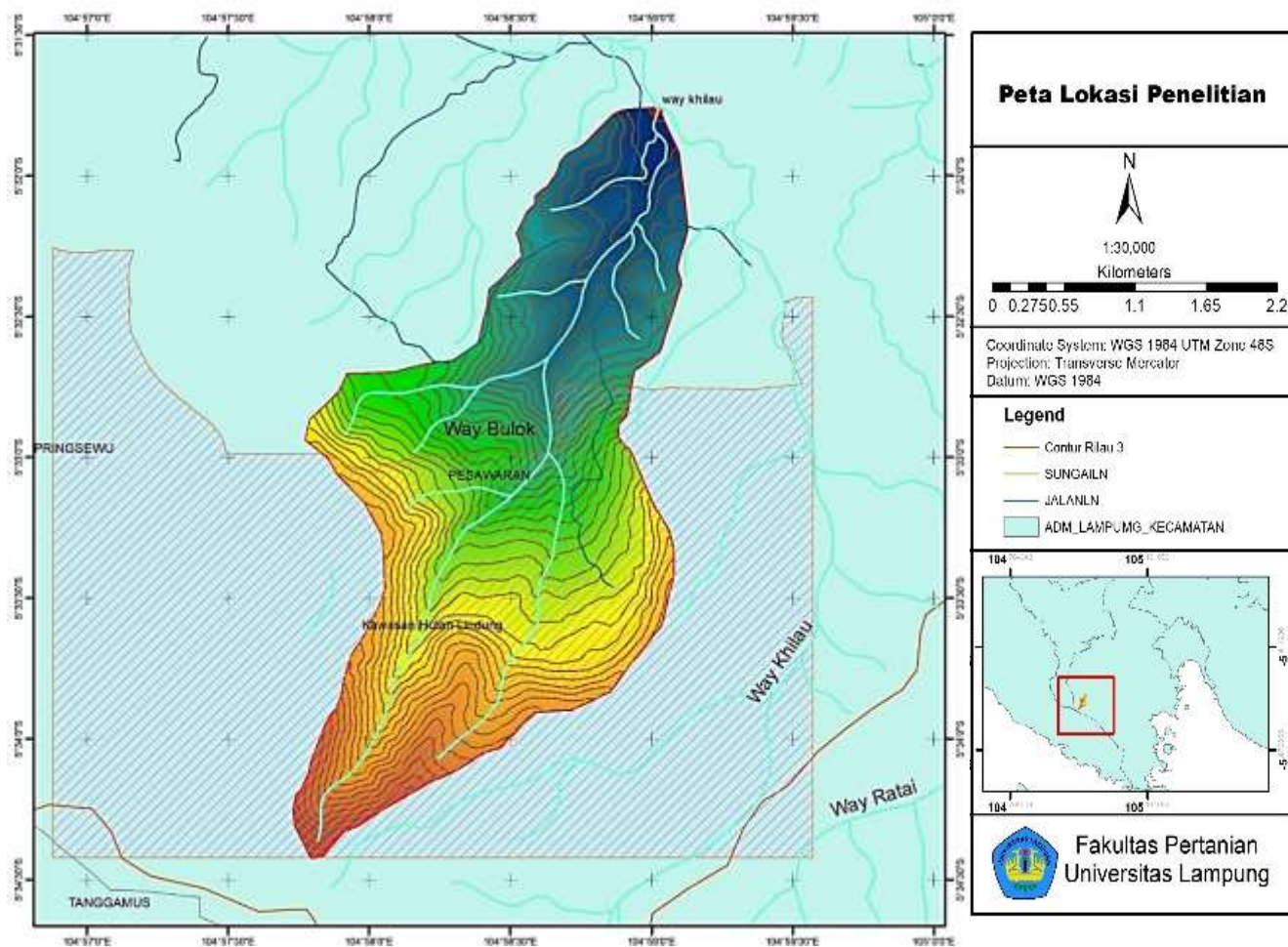
Bahan dalam penelitian yang digunakan adalah air sungai untuk pengambilan data dengan alat N-18, sampel air sungai yang digunakan untuk mengetahui tingkat kekeruhan dan sampel tanah yang digunakan untuk mengetahui parameter kekasaran butiran tanah (*Uji Sieve Analysis*).

### **3.3 Tahapan Penelitian**

Bagan alir tahapan penelitian pembuatan alat penduga sedimen terlihat pada Gambar 4.

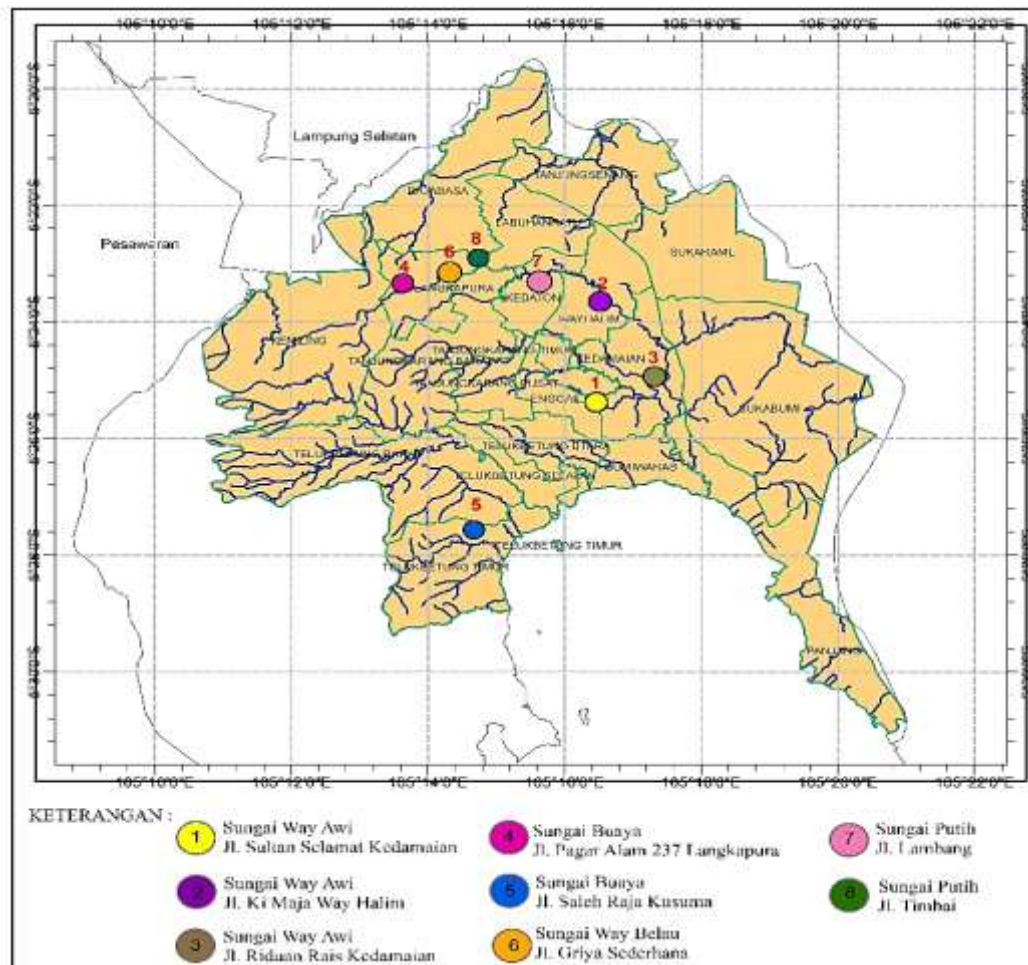


Gambar 2a. Peta Lokasi DAS Khilau.

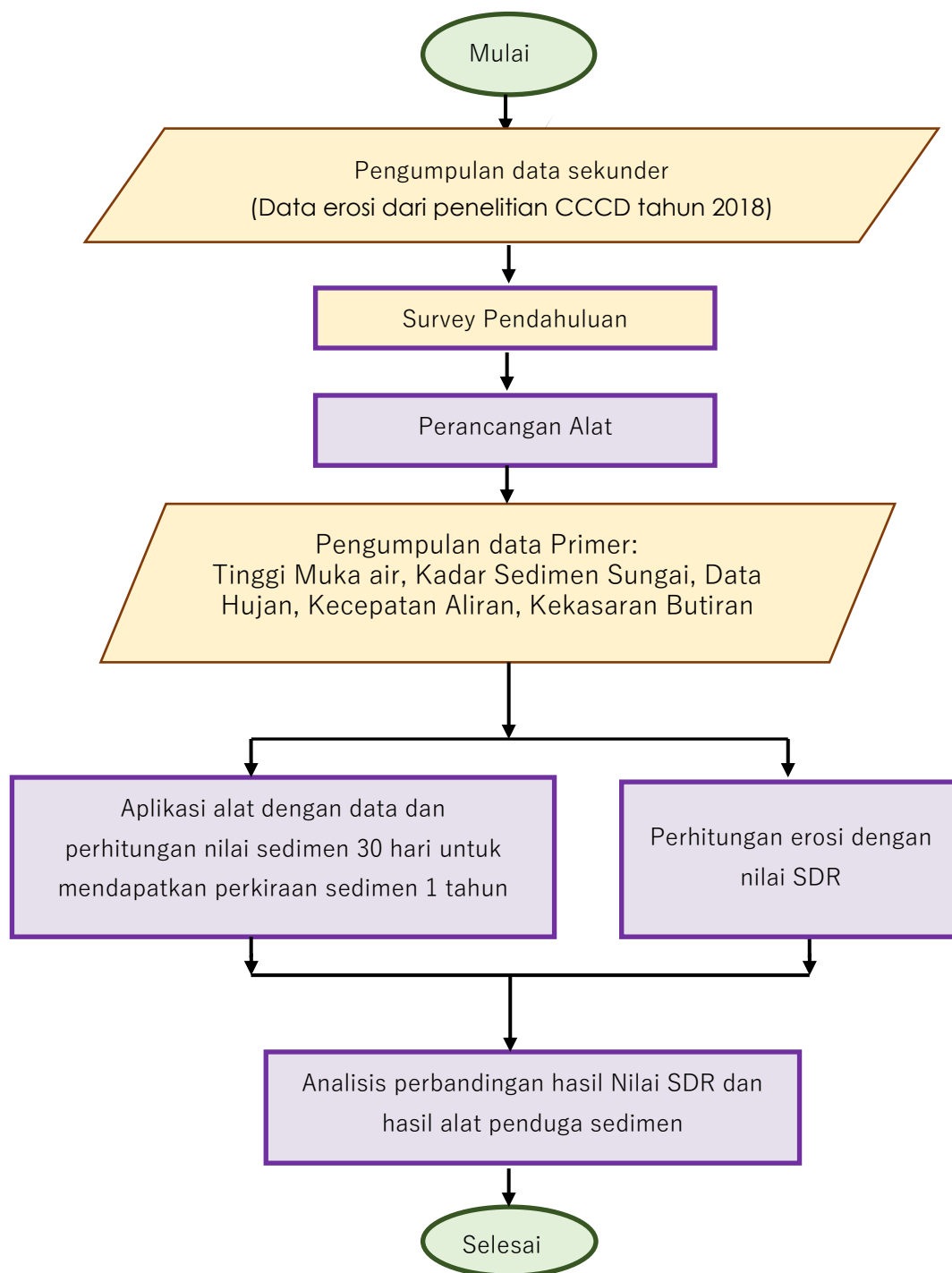


Gambar 2b. Peta lokasi penelitian (DAS Khilau).





Gambar 3. Lokasi pengambilan data (Bandar Lampung).



Gambar 4. Bagan alir tahapan penelitian.

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan berikut, yaitu:

1. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder berupa data erosi dari hasil penelitian *Cross Cutting Capacity Development (CCCD)* pada tahun 2018

## 2. Survey Pendahuluan

Survey pendahuluan dilakukan dengan kunjungan ke lokasi penelitian dan merancang titik-titik lokasi pengambilan data dan penempatan alat. Selain itu, dilakukan juga survei terhadap kondisi sungai dan lingkungan sekitar.

## 3. Perancangan Alat

Perancangan alat berupa perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, perakitan alat, pengujian alat, dan validasi alat.

## 4. Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer berupa data tinggi muka air, kadar sedimen sungai, data hujan, kecepatan aliran, kekasaran butiran. Data tersebut digunakan dalam perhitungan nilai sedimen dan nilai erosi berdasarkan SDR.

## 5. Aplikasi alat dengan data dan perhitungan nilai sedimen 30 hari dan erosi dengan nilai SDR

Perhitungan dilakukan dengan data primer yang akan digunakan sebagai aplikasi dari alat. Perhitungan dilakukan dengan serangkaian tahapan seperti perhitungan distribusi kecepatan, distribusi sedimen, analisis hidrologi, dan perhitungan debit angkutan sedimen, perhitungan SDR, dan perhitungan hasil sedimen.

## 6. Analisis perbandingan hasil Nilai SDR dan hasil alat penduga sedimen

Analisis dilakukan dengan menggunakan data erosi dari penelitian CCCD tahun 2018 yang digunakan untuk pengujian data erosi terhadap nilai SDR sehingga menghasilkan hasil sedimen, lalu dibandingkan nilai dugaan sedimen selama satu tahun di DAS Khilau dengan perhitungan dari alat N-18 yaitu data 30 hari yang diambil Tahun 2022

### **3.4 Perancangan Alat**

Perancangan alat meliputi tahapan seperti pada Gambar 5.



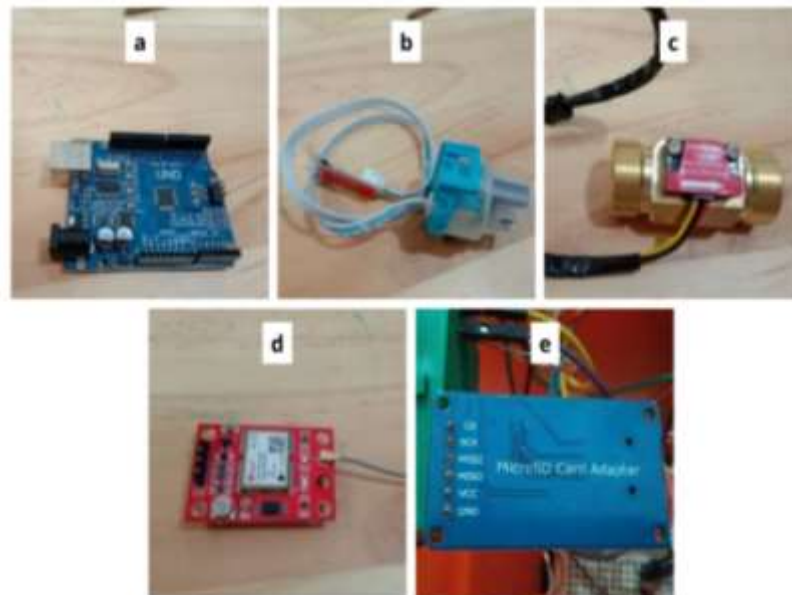


Gambar 5. Langkah perancangan alat N-18.

### 3.4.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras ini dirancang untuk memiliki rangkaian input dan output, yang dapat dihubungkan ke rangkaian mikrokontroler Arduino Uno seri ATmega328 *open-source* yang memiliki 14 pin analog input dan 16 MHz osilator kristal (Gambar 6.a). Mikrokontroler Arduino Mikrokontroler Arduino dapat mengontrol dan memproses data dengan perangkat input dan meneruskannya ke alat output. (Martinez-Santos, Acevedo-Patino & Contreras-Ortiz, 2019). Rangkaian *input* meliputi Turbidity Sensor tipe TS-300B (Gambar 6.b), Water Flow Sensor tipe YF-S201 0,5 inch (Gambar 6.c) dan Real Time Clock (RTC) and Position Sensor tipe Ublox m6 (Gambar 6.d). Sedangkan rangkaian *output* meliputi SIM 900A GSM/GPRS Module. SIM 900A GSM/GPRS Module ini berfungsi sebagai penghubung antara kontroler Arduino Uno dengan Web Service. Sumber energi dari rangkaian perangkat ini ditenagai oleh adaptor *power supply* dengan kapasitas 10050 mAh yang dapat diisi dayanya dan memiliki sakelar daya di bagian luarnya. Perangkat dapat dibongkar-pasang dengan mudah karena *power supply* dan mikrokontroler dihubungkan melalui kabel *USB*. *SD Card* yang berfungsi sebagai penyimpanan data hasil pengukuran sensor dihubungkan menggunakan data logger shield RTC V1.0 (Gambar 6.e). Semua bagian atau komponen rancangan alat ukur N-18, dirangkai dalam wadah kedap air yang dihubungkan dengan tiang

sebagai penghubung komponen pengukur kecepatan aliran dan penduga sedimen. Komponen utama yang digunakan pada perangkat instrumen terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. a. Mikrokontroler Arduino Uno seri ATmega328. b. Turbidity Sensor tipe TS-300B. c. Water Flow Sensor tipe YF-S201 0,5 inch. d. Real Time Clock (RTC) and Position Sensor tipe Ublox m6. e. Data logger shield RTC V1.0.

### 3.4.2 Perancangan Perangkat Lunak

Program perangkat lunak dibuat berdasarkan pada pengendali utamanya yaitu mikrokontroler Arduino Uno R3. Mikrokontroler diprogram dalam bahasa Arduino berbasis C menggunakan Arduino Sketch. Karena Arduino Uno R3 yang digunakan memiliki *compiler* sendiri yaitu Arduino IDE, maka program yang dibuat disimpan dengan ekstensi `[*].ino`. File dikompilasi dan dipasang ke mikrokontroler melalui kabel USB, sehingga dapat berfungsi sebagai pengendali sistem.

### 3.4.3 Perakitan Alat

Perakitan alat dilakukan untuk mengombinasikan antara perangkat keras dengan perangkat lunak agar didapatkan satu kesatuan alat yang dapat digunakan.

### 3.4.4 Pengujian Alat

- **Kalibrasi**

Untuk mengetahui keakuratan hasil output pada alat, maka perlu secara empiris mencocokkan kesesuaian rangkaian komponen melalui analisis faktor kalibrasi. Kalibrasi bertujuan untuk memastikan kesesuaian antara hasil data terukur dengan standar internasional yang ada. Menurut (Kelley *et al.*, 2014) turbidity sensor dikalibrasi dengan membandingkan antara hasil pengukuran alat yang sudah telusur dengan alat yang hendak dikalibrasi, untuk mengetahui replikasi perilaku dari alat ukur.

Kalibrasi pada penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dengan cara terukur pada alat sebanding. Dilakukan pada waktu dan posisi yang sama, sehingga kesetaraan perbandingan diperoleh secara tepat. Kemudian pembacaan rata-rata dari model Alat Penduga Sedimen N-18 dihubungkan dengan pembacaan rata-rata dari model *Turbiditymeter* komersil SGZ-200BS melalui pendekatan analisis regresi. Alat SGZ-200 dapat dilihat Gambar 7.



Gambar 7. *Turbiditymeter Nephelometer* Jenis SGZ-200BS.

Kurva hubungan antara kedua alat dihasilkan dalam bentuk analisis regresi, yang digunakan sebagai faktor kalibrasi *output* rancangan alat penduga N-18. Maka, hasil alat ukur SGZ-200BS dianggap sebagai pengganti nilai sedimen sebenarnya.

- **Konversi Ke Satuan ppm**

Untuk menambah kevaliditasan, maka diperlukan pembandingan lain sebagai parameter kelayakan fungsi alat ukur. Suatu petunjuk yang biasanya dipakai untuk menentukan tingkat sedimen tersuspensi dalam air adalah kekeruhan. Maka kemudian konversi satuan dipandang sebagai salah satu parameter tambahan yang tepat untuk melihat perilaku dari alat ukur sedimen otomatis.

Kemudian dilakukan perbandingan antara satuan NTU dengan satuan ppm (mg/L). Perbandingan indikator keduanya memiliki nilai yang bedekatan namun berbeda secara prinsip. Dilakukan dengan menghubungkan antara hasil pembacaan Alat Penduga Sedimen N-18 dengan hasil uji sampel air di laboratorium pada setiap titik pengambilan untuk memperoleh faktor konversinya. Pengambilan sampel yang diuji pada laboratorium dilakukan bersamaan dengan pengambilan menggunakan kedua alat ukur turbiditas, sehingga relasi di antaranya dapat diperoleh secara berimbang. Pembacaan rata-rata dari model Alat Penduga Sedimen N-18 dihubungkan

dengan hasil rata-rata uji laboratorium sampel air melalui pendekatan analisis regresi, sebagai faktor konversi di antara keduanya.

### **3.4.5 Validasi Alat**

Validasi alat dilakukan dengan melakukan pengukuran konsentrasi sedimen di beberapa sungai di Bandar Lampung dibandingkan terhadap hasil uji sedimen di laboratorium. Validasi alat juga dilakukan pada data kecepatan yang didapatkan dari alat per kedalaman 0,05 m yang dibandingkan terhadap analisis distribusi kecepatan dari data 30 hari.

## **3.5 Variabel dan Analisis Data Penelitian**

### **3.5.1 Variabel Penelitian**

Adapun variabel yang terukur dalam penelitian antara lain:

- **Kekeruhan**  
Kekeruhan adalah ukuran yang diukur dengan menggunakan efek cahaya untuk mengukur keadaan air baku dengan skala NTU (Nephelometrix Turbidity Unit), JTU (Jackson Turbidity Unit), atau FTU (Formazin Turbidity Unit). Kekeruhan air ini disebabkan oleh adanya benda tercampur atau koloid di dalamnya.
- **Kecepatan**  
Kecepatan sungai (aliran) yang terekam berupa seberapa jauh jarak yang ditempuh aliran per satuan waktu. Kecepatan ini dapat digunakan untuk menghitung debit aliran, dengan mengalikan kecepatan dengan luas tampang sungai.

- Lokasi dan Waktu yang asli  
Lokasi yang tercatat berupa posisi dalam lintang dan bujur derajat. Adapun waktu yang tercatat dapat diatur baik berupa jam, menit, maupun detik.

### 3.5.2 Analisis Data

Pada analisis data dilakukan pengujian kalibrasi alat yang diperlukan untuk menentukan apakah alat melakukan pengukuran dengan akurat. Proses pengujian dilakukan dengan uji banding hasil pembacaan alat terhadap hasil pengukuran dengan alat lain yang mempunyai fungsi sama. Alat yang digunakan adalah SGZ-200, yang juga memberikan keluaran hasil pengukuran dalam NTU. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data di 8 lokasi sungai di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Pengambilan data dengan kedua alat dilakukan pada waktu bersamaan.

Selain pengujian kalibrasi terhadap alat, dilakukan pula analisis untuk menyetarakan satuan NTU ke ppm. Kegiatan yang dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran langsung dengan alat yang dirakit terhadap pengukuran uji sampel air yang diuji di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung. Pengambilan sampel dilakukan bersamaan dengan saat pengukuran untuk kegiatan kalibrasi alat pada beberapa sungai di Bandar Lampung.

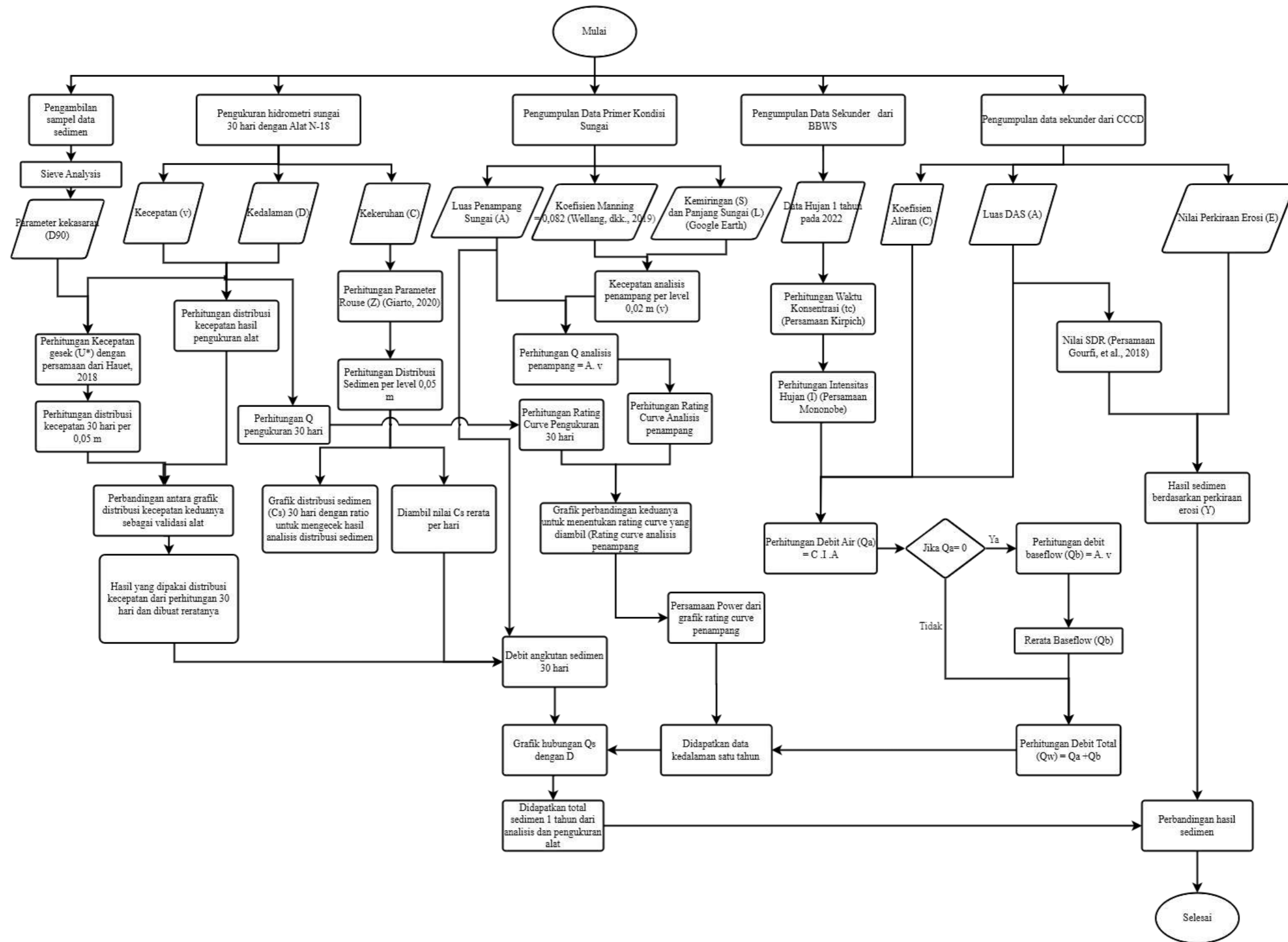
Aplikasi alat dilakukan berdasarkan data yang diambil selama 30 hari di DAS Khilau, yaitu data kedalaman, kecepatan, dan sedimen. Pengambilan dilakukan hanya satu kali per hari. Tahapan aplikasi alat untuk menduga sedimen dilakukan seperti bagan alir pada Gambar 8 atau dengan tahapan sebagai berikut:

1. Perhitungan distribusi kecepatan dilakukan berdasarkan data pengukuran alat selama 30 hari untuk mendapatkan kecepatan harian rata-rata.

2. Perhitungan distribusi sedimen berdasarkan data pengukuran alat selama 30 hari untuk mendapatkan rata-rata sedimen harian ( $C_s$ )
3. Analisis hidrologi dilakukan dengan tahapan:
  - Mendapatkan debit air ( $Q_a$ ) dalam 1 bulan (empiris) berdasarkan data hujan selama 1 bulan.
  - Jika terdapat data hujan harian yang bernilai 0 maka dilakukan perhitungan *baseflow* ( $Q_b$ ). *Baseflow* yang digunakan adalah *baseflow* rata-rata dari rata-rata *baseflow* selama sebulan.
  - Menghitung debit total ( $Q_w$ ) selama 1 tahun yang merupakan jumlah debit air ( $Q_a$ ) dan *Baseflow* ( $Q_b$ ).
4. Pembuatan *rating curve* (grafik hubungan antara kedalaman dengan debit) berdasarkan data pengukuran dan analisis penampang.
  - *Rating curve* berdasarkan data pengukuran adalah antara  $Q = (A \times V)$  dimana  $A$  adalah luas penampang harian dan  $V$  kecepatan pengukuran alat.
  - *Rating curve* berdasarkan data analisis penampang antara  $A$  adalah luas penampang perlevel 0,2 m dan  $V$  adalah kecepatan manning.
  - Dari *rating curve* didapatkan persamaan untuk mendapatkan kedalaman 1 tahun berdasarkan  $Q_w$  1 tahun.
5. Perhitungan debit angkutan sedimen 30 hari ( $Q_s$ ) dilakukan berdasarkan kedalaman pengukuran 30 hari, kecepatan dari distribusi kecepatan harian dan  $C_s$  dari distribusi sedimen harian 30 hari.
6. Pembuatan grafik hubungan kedalaman dengan  $Q_s$  30 hari, sehingga menghasilkan persamaan untuk menghitung  $Q_s$  1 tahun berdasarkan kedalaman 1 tahun dari *rating curve* analisis penampang.
7. Total sedimen dalam 1 tahun dihitung berdasarkan penjumlahan  $Q_s$  harian dalam 1 tahun.

8. Perhitungan SDR dilakukan berdasarkan luas DAS.
9. Perhitungan hasil sedimen berdasarkan hasil SDR dan estimasi erosi berdasarkan data sekunder dari data CCCD yang menggunakan persamaan USLE.
10. Membandingkan antara hasil perhitungan sedimen dengan analisis hasil pendugaan sedimen berdasarkan nilai SDR terhadap nilai sedimen selama 1 tahun dari perhitungan debit angkutan sedimen berdasarkan data pengukuran menggunakan alat N-18.





Gambar 8. Bagan alir tahapan aplikasi alat.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan penjelasan yang telah dilakukan, maka kesimpulannya adalah:

- 1) Telah didapatkan hasil rancang bangun alat penduga sedimen yaitu N-18 untuk mempermudah pengukuran sedimen di sungai.
- 2) Dengan alat SGZ-200, alat N-18 menunjukkan keterwakilan data yang baik terhadap kurva regresi, dan fungsi hubungan bergradiennya mendekati atau sama dengan 1. Hasil konversi satuan pada alat dilakukan dengan membandingkan hasil hasil uji laboratorium dengan uji langsung menggunakan alat N-18 didapatkan konversi satuan ke ppm dengan persamaan  $y = 7,8834x - 237,81$  dan  $r = 0,99$ . Jadi, Alat Penduga Sedimen N-18 telah terkalibrasi dan terkonversi satuannya sehingga memiliki kemampuan pengukuran yang baik.
- 3) Persamaan konversi satuan dari NTU ke ppm digunakan sebagai validasi pendugaan sedimen yang dimasukkan dalam program dan diuji kembali sehingga menghasilkan galat rata-rata sebesar 0,366%. Pengukur kecepatan divalidasi dengan membandingkan analisis distribusi kecepatan terhadap data pengambilan dengan alat dan hasil grafiknya menunjukkan kemiripan bentuk distribusi kecepatan dari kedua data tersebut. Sehingga, Alat Penduga Sedimen N-18 telah tervalidasi dengan baik.

## 6.2 Saran

Penelitian lanjutan dan pengembangan Alat Penduga Sedimen N-18 perlu dilakukan lagi dengan saran berikut ini:

- 1) Untuk memaksimalkan kinerja alat, perlu dilakukan penyempurnaan alat lebih lanjut yaitu pemasangan penangkap sinyal yang lebih kuat dan *power supply* bertenaga surya dan pembuatan dudukan alat untuk mempermudah pengukuran per level ketinggian
- 2) Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengukur pada kondisi atau musim yang berbeda dengan saat penelitian dilakukan
- 3) Untuk pengembangan lebih lanjut, perlu adanya penelitian terhadap N-18 agar dapat diaplikasikan sebagai pendeteksi banjir otomatis.
- 4) Perlu adanya kolaborasi antar bidang ilmu yang berkaitan untuk memaksimalkan kinerja alat kedepannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ammari, S., Wildian, W. dan Harmadi, H., 2019. Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Banjir Berdasarkan Tingkat Kekeruhan Air Hulu Sungai dengan Turbidity Sensor SEN0189 dan Transceiver nRF24L01+. *Jurnal Fisika Unand*, 8(3), 240-244.
- Andawayanti, U., 2019. *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Terintegrasi*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Andriyani, I., Wahyuningsih, S. dan Karim, M. D., 2019. Prediksi Laju Sedimentasi dan Erosi di Sub DAS Kemuning Menggunakan Rainfall Simulator. *AgriTECH*, 39(3), 179-187.
- Aprilia, I. dan Ariyanti, D., 2021. Rancang Bangun Prototype Alat Pendeteksi Tingkat Kekeruhan Dan Mengukur Debit Air Pada Kolam Lele Menggunakan Arduino Uno. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 23(1), 58-70.
- Ariadi, M. M., Sugriwan, I. dan Fahrudin, A. E., 2018. Sistem Alat Ukur Kekeruhan Berbasis Mikrokontroler ATMega16A-PU. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 1(1), 112-119.
- Asdak, C., 1995. *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Yogyakarta: UGM PRESS.
- Arsada, B. dan Suprianto, B., 2017. Aplikasi sensor ultrasonik untuk deteksi posisi jarak pada ruang menggunakan arduino uno. *Jurnal Teknik Elektro*, 6(2), 1-8.
- Auliyani, D. dan Wijaya, W. W. 2017. Perbandingan Prediksi Hasil Sedimen Menggunakan Pendekatan Model Universal Soil Loss Equation dengan Pengukuran Langsung (Comparison of sediment yield from prediction using Universal Soil Loss Equation with direct measurement). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Journal of Watershed Management Research)*, 1(1), 61-71.
- Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPTKPDAS). 2021. *Teknik Pengukuran Hasil Sedimen*. Solo: Kementriaan Lingkungan Hidup.

- Banuwa, I. S., 2019. *Erosi*. Jakarta: Prenadamedia Group.
- Banuwa, I. S., Sinukaban, N., Tarigan, S. D. dan Darusman, D., 2008. Evaluasi kemampuan lahan DAS sekampung hulu. *Jurnal Tanah Tropika*, 13(2), 145-153.
- Banuwa, I. S., Yuwono, S. B. and Riniarti, M., 2016. *Erosion Prediction with Sediment Delivery Ratio Approach of Sekampung Watershed (Study in Watershed of Sekampung – Argoguruh Dam)*. Shield International Convergence. Lampung: Universitas Lampung.
- Banuwa, I. S., 2018. *Watershed Management Planning And Modelling*. Capacity Development for Implementing Rio Conventions through Enhancing Incentive Mechanisms for Sustainable Watershed/Land Management (CCCD). Lampung: Universitas Lampung.
- Barus, T. A., 2020. *Limnologi*. Makassar: Nas Media Pustaka.
- Cahyono, B. K., Hakim, L., Waljiyanto, W. dan Adhi, A. D., 2017. Perhitungan Kecepatan Sedimentasi Melalui Pendekatan Usle Dan Pengukuran Kandungan Tanah Dalam Air Sungai Yang Masuk Ke Dalam Waduk Sermo. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan*, 1(1), 8-23.
- Derakhshan, H. and Talebbeydokhti, N., 2011. Rainfall disaggregation in non-recording gauge stations using space-time information system. *Scientia Iranica*, 18(5), 995-1001.
- Dewiani, Z. B., Hasanuddin, E. P. dan Galang A. P., 2018. Perancangan Pengukuran Kadar Kepadatan Terlarut, Kekeruhan dan pH Air dengan Menggunakan Arduino. In *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Sains dan Teknologi* (Vol. 4).
- Djajusman, S. A., Arifin, H. S. and Riani, E., 2020. Analysis of total suspended solid content based on rain characteristics in the Ciliwung River basin. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(3), 352-363.
- Djufri, H. and Mutiara, I., 2018. Perbandingan Laju Sedimentasi pada Embung Beroangin dengan Metode USLE dan Pengukuran Langsung. *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, 4(2), pp.34-41.
- Giarto, R. B., Kironoto, B. A., Yulistiyanto, B. dan Sulistyoyo, T., 2020. Karakteristik Distribusi Sedimen Suspensi pada Sungai Alami Menggunakan Persamaan Rouse. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 21(1), 1-10.

- Gourfi, A., Daoudi, L. and Shi, Z., 2018. The assessment of soil erosion risk, sediment yield and their controlling factors on a large scale: Example of Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 147, 281-299. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2018.06.028
- Hakim, W.L., Hasanah, L., Mulyanti, B. and Aminudin, A., 2019. Characterization of turbidity water sensor SEN0189 on the changes of total suspended solids in the water. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1280, No. 2, p. 022064). IOP Publishing.
- Harmita, H., 2004. Petunjuk pelaksanaan validasi metode dan Cara Perhitungannya. *Majalah Ilmu Kefarmasian*, 1(3), 1.
- Hasan, F., Hadihardaja, I. K. dan Kardhana, H., 2018. Metode rasional modifikasi untuk berbagai kejadian hujan di Sub-DAS Cimanyar. *Universitas Widyatama*, 1-21.
- Hauet, A., Morlot, T. and Daubagnan, L., 2018. Velocity profile and depth-averaged to surface velocity in natural streams: A review over alarge sample of rivers. In *E3s web of conferences* (Vol. 40).
- Haynes, S. N., Richard, D. and Kubany, E. S., 1995. Content validity in psychological assessment: A functional approach to concepts and methods. *Psychological assessment*, 7(3), 238 - 247.
- Ihsan, H., 2015. Validitas Isi Alat Ukur Penelitian: Konsep Dan Panduan Penilaiannya. *Pedagogia*, 13(3), 173-179.
- Indonesia. 2012. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Jakarta
- Indonesia. 2019. *UU No 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air*. Lembaran Negara RI Tahun 2019. Jakarta.
- Istiarto. 2019. *Pengukuran Transpor Sedimen*. Yogyakarta: UGM.
- Juniyanti L., Prasetyo, L. B., Aprianto, D. P., Purnomo, H. dan Kartodihardjo, H., 2020. *Perubahan Penggunaan dan Tutupan Lahan*. Yogyakarta: UGM.
- Rachmansyah, F., Utomo, S. B. dan Sumardi, S., 2014. Perancangan dan Penerapan Alat Ukur Keketuhan Air Menggunakan Metode Nefelometrik pada Instalasi Pengolahan Air dengan Multi Media Card (MMC) sebagai Media Penyimpanan (Studi Kasus di PDAM Jember). *Berkala Sainstek*, 2(1), 17-21.
- KAN. Standart Internasional ISO/OEC 17025 : 2005. *Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi*. Edisi ke 2, Jakarta 15-05-2005.

- Kironoto, B. A., Graf, W. H. and Reynolds, 1995. Turbulence characteristics in rough non-uniform open-channel flow. *Proceedings of the institution of civil engineers-water maritime and energy*, 112(4), 336-348.
- Kelley, C. D., Krolick, A., Brunner, L., Burklund, A., Kahn, D., Ball, W. P. and Weber-Shirk, M., 2014. An affordable open-source turbidimeter. *Sensors*, 14(4), 7142-7155.
- Mama, R., 2018. Sediment Transport Characteristic Of The Ping River Basin, Thailand, *Procedia Engineering*, 12th International Conference on Hydroinformatics, HIC, Vol.154, 557-564, doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.552
- Mubarak, M., 2016. *Model Transpor Sedimen dan Limbah Domestik di Estuari*. Riau: Universitas Riau.
- Mulyana, Y. and Hakim, D. L., 2018, July. Prototype of water turbidity monitoring system. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 384, No. 1). IOP Publishing.
- Nezu, I. and Rodi, W., 1986. Open-channel flow measurements with a laser Doppler anemometer. *Journal of hydraulic engineering*, 112(5), 335-355.
- Noor, A., Supriyanto, A. dan Rhomadhona, H., 2019. Aplikasi Pendeteksi Kualitas Air Menggunakan Turbidity Sensor Dan Arduino Berbasis Web Mobile. *J. Coreit*, 5(1).
- Purnama, A. 2016. Analisis Distribusi Kecepatan Dan Sedimen Pada Tikungan 55 Saluran Terbuka Tampang Segi Empat.
- Sarti, Y. S. dan Suwardoyo, U., 2022. Aplikasi Konversi Angka Ke Satuan Menggunakan Kamera Smartphone Berbasis Android. *Jurnal Sintaks Logika*, 2(1), 278-286.
- Setyaningsih, W., Sriyono, S. dan Benardi, A., 2018. Kajian Kerusakan Lahan Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kreo Akibat Pembangunan Pemukiman Di Sekitar Waduk Jatibarang Kota Semarang. *Media Komunikasi Geografi*, 19(2), 177-186.
- Suaif, A., Maulana, D. S., Yuliantini, L., Aminah, N. S. dan Djamil, M., 2017. Sistem monitoring sedimentasi layang sungai Cikapundung berbasis wireless system menggunakan Spektroskopi. *Prosiding SNIPS, Insitut Teknologi Bandung, Bandung*, 23-27.
- Suciana, A. T., Sumiadi dan Sisinggih, D., 2016. Kajian Distribusi Kecepatan Aliran Sebelum dan Sesudah Belokan di Saluran Terbuka Menggunakan

Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). *Jurnal Teknik Pengairan Konsentrasi Perencanaan Bangunan Air*.

- Sunandar, A. D., 2016. Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Respon Hidrologis di DAS Asahan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 13(1), 49-60.
- Suliyani, N., Suciyati, S. W., Pauzi, G. A. dan Surtono, A., 2021. Rancang Bangun Alat Ukur Kekeruhan Air Menggunakan Fototransistor dan LED Inframerah Berbasis Arduino Uno. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 2(2), 39-47.
- Triatmodjo, B., 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wang, Y., Rajib, S. S. M., Collins, C. and Grieve, B., 2018. Low-cost turbidity sensor for low-power wireless monitoring of fresh-water courses. *IEEE Sensors Journal*, 18(11), 4689-4696.
- Wanie M. R, Michelle S., Awatif A., Khairul F.K., Ali N. A., and Ahmed E., 2021. Rainfall forecasting model using machine learning methods: Case study Terengganu, Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal* 12, 1651–1663.
- Wellang, M., Hasim, M.F. and Simin, I.F., 2019. Analisa Koefisien Kekasaran Manning (n) dan Chezy (c) pada Saluran Terbuka dengan Variasi Debit Aliran dan Kemiringan. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 4(1), pp.11-21.