

Pengembangan Alat Ukur Hidrometri Berbasis 5 Jenis Sensor Untuk Deteksi Konsentrasi Sedimen Dalam Upaya Mitigasi Bencana Banjir Sungai Bomo

Zulis Erwanto^{1,3*}, Data Iranata³, Mahendra Andiek Maulana³, Ginanjar Eka Sasmita¹,
Siswo Handoko¹, Hida Jaya Habibi², Nur Cholik Hasyim²

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

²Jurusan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi

³Departemen Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

*Email: zulis.erwanto@poliwangi.ac.id

Abstract

Flooding in Banyuwangi's bird feather-type watershed can significantly impact sediment transport and water quality. The expanse of the Bomo River is driven by the intensity of rainfall and the high flow velocity which has the impact of erosion, degradation, and high roughness. The research aims to develop a sensor-based hydrometry measuring instrument for the detection of sediment concentrations to mitigate flood disasters in the Bomo River. The phase of research is through the design process of construction of a sensing-based ultrasonic (water level), water flow, turbidity, TDS, and temperature sensing instrument, then simulation of measurements, and sediment samples for testing the physical characteristics in the laboratory, such as the concentration test, specific gravity, volume weight, sieve analysis and hydrometer. The parameters of hydrometry were tested statistically through the sediment-discharge rating curve. Calibration of TDS sensor readings to sediment concentration has an average MAE of 0.23 reliable to field conditions. The result of the sediment-discharge rating curve in the dry season was obtained from the equation $Qs_{dry}=35.653.(Qw)^{0.9315}$ ($R^2 = 0.8269$). In the wet season, the equation was obtained $Qs_{wet}=16.501.(Qw)^{1.3719}$ ($R^2 = 0.9336$). During the dry season, caution was needed because the soil was more erosive. After all, a value > 26 was 35.653 which indicates a high rate of erosion and can cause flooding and landslides. Sensor-based hydrometry measurement is developed as a sediment concentration detection tool as an indicator of sediment load in flood disaster mitigation efforts and land conservation measures.

Keywords: Hydrometry, flood disaster mitigation, sediment-discharge rating curve, sensor, turbidity

Abstrak

Peristiwa banjir pada DAS bertipe bulu burung di Banyuwangi dapat membawa dampak tingginya angkutan sedimen dan menurunnya kualitas air. Peluapan sungai Bomo dipacu karena intensitas hujan dan kecepatan aliran tinggi sehingga berdampak erosi, degradasi, dan kekeruhan yang tinggi. Tujuan penelitian untuk pengembangan alat ukur hidrometri berbasis sensor untuk deteksi konsentrasi sedimen dalam upaya mitigasi bencana banjir di Sungai Bomo. Tahapan penelitian melalui proses rancang bangun alat ukur hidrometri berbasis sensor berupa sensor *ultrasonic* (water level), *water flow*, *turbidity*, TDS, dan suhu, lalu simulasi pengukuran, dan pengambilan sampel sedimen untuk diuji karakteristik fisik di laboratorium berupa uji konsentrasi sedimen, berat jenis, berat volume, analisa saringan dan hidrometer. Parameter hidrometri diuji statistik melalui *sediment-discharge rating curve*. Hasil pengujian karakteristik fisik sedimen sungai Bomo selama 7 hari masing-masing di bulan basah dan kering diperoleh nilai rata-rata Cu 3,88 – 6,58 dan nilai rata-rata Cc 0,62 – 1,19, berat jenis rata-rata 2,5 – 2,55 dan berat volume 1,49 – 1,57 gr/cm³. Kalibrasi pembacaan sensor TDS terhadap konsentrasi sedimen dengan nilai MAE rata-rata sebesar 0,23 *reliable* terhadap kondisi lapangan. Hasil *sediment-discharge rating curve* pada musim kering diperoleh persamaan $Qs_{dry}=35.653.(Qw)^{0.9315}$ ($R^2 = 0.8269$). Pada musim basah diperoleh persamaan $Qs_{wet}=16.501.(Qw)^{1.3719}$ ($R^2 = 0.9336$). Pada saat musim kering perlu waspada karena lahan lebih erosif karena nilai $a > 26$ yaitu 35.653 yang mengindikasikan laju erosi tinggi dan dapat menyebabkan banjir dan longsor. Alat ukur hidrometri berbasis sensor layak dikembangkan sebagai alat deteksi konsentrasi sedimen sebagai indikator muatan sedimen dalam upaya mitigasi bencana banjir dan tindakan konservasi lahan.

Kata kunci: Hidrometri, mitigasi bencana banjir, *sediment-discharge rating curve*, sensor, turbidity

1. Pendahuluan

Banjir adalah aliran berlebih atau penggenangan yang datang dari sungai atau badan air lainnya dan menyebabkan atau mengancam kerusakan. Banjir ditunjukkan aliran air yang melampaui kapasitas tebing atau tanggul sungai, sehingga mengenai daerah sekitarnya [1], [2]. Banjir juga diakibatkan dari penurunan kapasitas sungai. Salah satu penurunan kapasitas sungai adalah penumpukan sedimen yang disebut sedimentasi di sungai baik di aliran tengah sungai atau di muara sungai. Sedimentasi dapat menyebabkan naik turunnya elevasi dasar sungai (perubahan dasar sungai), seperti halnya dialami Sungai Tambong Banyuwangi salah satu DAS yang bertipe bulu burung di Banyuwangi [3].

Salah satu sungai di Banyuwangi yang juga memiliki karakteristik banjir dan sedimentasi yang tinggi dan dimanfaatkan sebagai penambangan pasir sungai adalah di DAS Bomo dan sekitarnya. Kondisi banjir di DAS Bomo memiliki tipe bulu burung dimana peluapan sungai yang terjadi berlangsung relatif lama dan memiliki arus yang deras dengan membawa banyak sedimen. Dilihat dari morfologi sungai Bomo, banyak dijumpai sungai berkelok-kelok dan profil sungai memanjang dari hulu ke hilir dengan penampang palung sungai yang relatif curam dengan kemiringan lereng 18-25%. Dengan kondisi penampang sungai yang memiliki palung dengan kemiringan lereng yang relatif curam ini dapat diindikasikan bahwa daya rusak aliran sungai Bomo sangat besar yang disebabkan oleh debit banjir yang besar dan kecepatan aliran yang tinggi, sehingga berdampak laju erosi dan konsentrasi sedimen yang tinggi dengan disertai degradasi dasar sungai [4].

Dalam memperkirakan konsentrasi sedimen tersebut, perlu adanya penentuan korelasi antara tinggi muka air, kecepatan aliran, *turbidity*, suspensi sedimen (ppm), suhu, dan debit. Untuk mengetahui hubungan antar variabel tersebut menggunakan hubungan korelasi untuk mencari R^2 terbaik dari persamaan antara variabel tersebut. Sehingga, diperlukan pengumpulan data-data primer

seperti pengukuran tinggi muka air, *water flow*, *turbidity*, TDS (ppm), suhu, dan debit sungai. Untuk mengumpulkan data-data tersebut secara *time series* diperlukannya pengambilan data di lapangan dengan alat ukur berbasis sensor dari hasil rancang bangun seperti halnya teknologi *ultrasonic level gauge* dan sejenisnya [5]–[10].

Metode pengukuran variabel tersebut berdasarkan hidrometri sungai [11]–[13] serta dilakukan pengambilan sampel sedimen untuk diuji karakteristik sedimen di laboratorium. Hasil pengukuran tinggi muka air dan debit digunakan untuk membuat *rating curve*, sedangkan sampel suspensi dianalisis di laboratorium untuk diketahui kadar suspensinya sebagai data verifikasi terhadap data TDS dari pembacaan sensor. Hubungan antara debit aliran dengan debit suspensi memiliki korelasi yang kuat, namun tidak memiliki pengaruh yang besar.

Sedangkan curah hujan tidak mempengaruhi secara langsung besarnya debit suspensi [14]. Untuk pengumpulan data sekunder berupa debit dan tinggi muka air. Dari parameter hidrometri tersebut dilakukan uji statistik untuk menentukan korelasi melalui *sediment-discharge rating curve*, seperti halnya penelitian sebelumnya [15]–[26]. Tujuan pengembangan alat ukur hidrometri berbasis sensor ini diharapkan dapat dijadikan alat deteksi konsentrasi sedimen sebagai indikator penentuan volume sedimentasi, mitigasi bencana banjir dan upaya tindakan konservasi lahan pada suatu daerah aliran sungai.

2. Metoda Penelitian

2.1. Studi Literatur dan Survei Lapangan

Studi literatur dilakukan dengan mempertimbangkan jurnal-jurnal, buku, tesis, disertasi, berita dan sumber-sumber yang berhubungan dengan studi ini sebagai referensi. Tahapan selanjutnya adalah survei lapangan untuk penentuan lokasi titik ukur di daerah hilir Sungai Bomo Kabupaten Banyuwangi sebagai lokasi studi dalam mensimulasi uji coba alat dan pengambilan data pengukuran.

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer didapat langsung dari lapangan dengan cara peninjauan langsung ke lokasi studi, yang berupa pengukuran tinggi muka air, *water flow*, *turbidity*, TDS, suhu, dan debit sungai. Rencana akan merancang bangun alat ukur berbasis sensor untuk memudahkan dalam pengambilan data-data tersebut secara *time series*, serta pengambilan sampel sedimen baik *suspended load* dan *bed load* untuk dilakukan uji karakteristik fisik sedimen di laboratorium untuk mendapatkan konsentrasi sedimen melayang, berat jenis, berat volume dan ukuran diameter sedimen dengan analisa saringan dan hidrometer. Data hasil uji laboratorium tersebut digunakan untuk kalibrasi hasil pembacaan sensor konsentrasi sedimen.

Pengukuran data dengan alat dan pengambilan sampel sedimen akan dilakukan di bulan kering dan bulan basah dimana masing-masing dilakukan selama 1 minggu di lokasi titik ukur. Sampel pengukuran data tersebut untuk menentukan *rating curve* yang mewakili data di musim kemarau dan musim penghujan. Untuk data sekunder berupa debit dan tinggi muka air dari Unit Pelaksana Teknis Pengelolaan Sumber Daya Air (UPT PSDA) Wilayah Sungai Sampean Setail di Bondowoso.

2.3. Rancang Bangun Alat Ukur Hidrometri Berbasis Sensor

Merasakan banjir bandang adalah tantangan, karena sensornya harus memiliki masa pakai yang lama, mengukur ketinggian air di semua kondisi aliran, dan mampu memantau sendiri (untuk memastikan mereka selalu berfungsi). Sensor telah diselidiki di masa lalu untuk aplikasi pemantauan banjir, khususnya pengukuran ketinggian air ultrasonik pada jembatan atau sensor tekanan untuk pengukuran ketinggian air sungai. Dalam kasus ini, sensor ini tidak akan dapat mengukur tekanan statis dan dinamis secara independen, dan pengukurannya akan dipengaruhi oleh orientasinya sehubungan dengan aliran air. Sensor juga dapat dipengaruhi oleh puing-puing atau batu yang dibawa oleh banjir bandang, dan perlu diuji secara berkala dalam

air. Diantara teknologi penginderaan non-kontak, tiga teknologi utama dapat dipikirkan: pengintai ultrasonik dan radar *Ultra Wide Band* (UWB) dan LIDAR. Pengintai ultrasonik jauh lebih murah dan lebih akurat daripada UWB dan LIDAR yang tersedia saat ini, meskipun mereka dapat dipengaruhi oleh parameter lingkungan, seperti suhu atau kelembaban [9].

Pada penelitian ini, memilih pengintai ultrasonik untuk biayanya yang rendah. Berdasarkan pengalaman penelitian tersebut, target kami adalah merancang bangun alat ukur water level berbasis sensor *ultrasonic* dan dilengkapi sensor *turbidity*, *water flow*, TDS, dan suhu. Seperti halnya dari beberapa hasil paten terdahulu menggunakan alat *ultrasonic level gauge, device to measure liquid flow in open canals, ultrasonic flow rate measurement method and flow rate measurement apparatus, and ultrasonic flow rate measurement method and ultrasonic flow rate measurement device* [5]–[8].

Komponen utama rancang bangun alat ukur hidrometri berbasis sensor dengan dilengkapi sensor, sebagai berikut:

1. *RC Boat 4 Blades 60 mm Paddle Boat Propeller High Strength Shaft 4 mm*. Merupakan baling-baling 4 bilah sayap untuk mengukur arus.
2. *Waterproof Ultrasonic Sensor - A02YYUW*. Dengan spesifikasi *operating voltage: 3.3~5 V, average current: < 8mA, blind zone distance: 3cm, detecting range (flat object): 3-450 cm, output: great response time: 100ms, operating temperature: -15~60°C, storage temperature: -25~80°C, reference angle: 60°, dan waterproof grade: IP67*.
3. *Water flow sensor 2" DN50 Sensor Debit Air Sea Brand*. Fungsi: Untuk mendeteksi laju aliran air pada peralatan seperti pemanas air termostatik, penyaring air, dispenser air, peralatan kartu pintar, mesin kopi, dan lain-lain. Spesifikasi sensor yaitu: berbahan plastik, ukuran benang: DN50, dimensi: L 92x OD58 X2", warna: hitam, laju aliran: 10~350L/min, frekuensi pulsa aliran: F (Hz) = (0,2xQ)-3%; Q = L/min, arus kerja maksimum: 15mA (DC5 V), tegangan kerja

- minimum: DC 4,5V, tegangan kerja: DC 5V~24V, kapasitas beban: = 10 mA (DC 5 V), suhu kerja: -25°C hingga +80°C, suhu cairan: 80°C, akurasi: 5%, lingkungan kerja: air, cairan, minyak ringan, air minum, dan bahan: RoHs, tidak beracun
4. *Hall Effect Sensor Magnet Sensor A 3144*. Spesifikasi: tipe: *linear unipolar hall-effect sensor*, fungsi: *magnetic switch*, konsumsi daya: 3.5mA pada VCC = 5V, *output: single current sourcing output, output mode: digital*, sensitivitas: lebih sensitif terhadap fluks magnetik dibandingkan dengan switch biasa, rentang suhu: -40°C hingga +85°C, dan dimensi: 4.5mm x 3.0mm x 18.5mm.
 5. *DFRobot Analog Turbidity Sensor for Arduino*. Spesifikasi: *operating voltage: 5V DC, operating current: 40mA (MAX), response time: <500ms, insulation resistance: 100M (Min), output method: analog output: 0-4.5V, digital output: high/low-level signal (you can adjust the threshold value by adjusting the potentiometer), operating temperature: 5°C~90°C, storage temperature: -10°C~90°C, weight: 30g, adapter dimensions: 38mm x 28mm x 10mm atau 1.5inches x 1.1inches x 0.4inches*.
 6. Arduino Mega adalah papan mikrokontroler yang menggunakan IC ATmega2560. Arduino Mega memiliki 54 pin *input/output digital*, 16 *input analog*, 4 UART, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. Arduino Mega beroperasi pada tegangan 5V dan membutuhkan tegangan input 7-12V untuk menyalakannya. Arduino Mega memiliki flash memori 256 KB.
 7. *Waterproof DS18B20 Digital Temperature Sensor* memiliki spesifikasi sebagai berikut: tegangan kerja antara 3 - 5.5 V, pada rentang suhu -10°C hingga 85°C akurasi mencapai 0.5°C, rentang temperatur -55°C hingga 125°C, resolusi antara 9 hingga 12 bit, menggunakan antarmuka 1-wire, dilengkapi 64 bit ID unik yang diburn dalam chip, dilengkapi *stainless steel waterproofing tube* dengan panjang 35 mm dan diameter 6 mm, diameter kabel 4 mm, panjang kabel 90 cm. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur suhu objek yang letaknya agak berjauhan dari *board controller* serta telah dilengkapi *waterproofing case* yang sangat berguna ketika mengukur suhu objek basah atau cair.
 8. Sensor TDS meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah padatan terlarut dalam air. Alat ini dapat digunakan untuk memantau kualitas air di berbagai aplikasi, seperti analisis air domestik dan hidroponik. Sensor TDS meter yang kompatibel dengan sebagian besar mikrokontroler, seperti Arduino, ESP32, Raspberry Pi, microbit dan LattePanda. Alat ini memiliki input tegangan 3,3 ~ 5,5V dan output tegangan analog 0 ~ 2,3V. Rentang pengukuran TDS adalah 0 ~ 1000 ppm dengan akurasi ± 10% F.S. (25°C). Sensor ini dilengkapi dengan probe yang tahan air dan dapat dicelupkan ke dalam air untuk pengukuran jangka panjang. Namun, perlu diperhatikan bahwa probe tidak boleh digunakan dalam air di atas 55°C dan tidak boleh terlalu dekat dengan tepi wadah, karena dapat mempengaruhi pembacaan.

2.4. Pengukuran Hidrometri

Melakukan pengukuran hidrometri sungai dengan alat hasil rancang bangun berbasis sensor *ultrasonic* untuk *water level*, pengukuran *water flow*, pengukuran *turbidity*, *TDS* (ppm), dan suhu air. Pengukuran dilakukan selama 7 hari 18 jam di lokasi titik ukur hilir Sungai Bomo Bawah. Pengukuran dilakukan dalam dua musim untuk mewakili di bulan musim kemarau dan bulan musim penghujan. Jadi total pengukuran hidrometri selama 14 hari.

2.5. Analisis *Sediment-Discharge Rating Curve*

Analisis *sediment-discharge rating curve* merupakan metode menentukan korelasi dan persamaan regresi *power* antara variabel hasil pengukuran yaitu antara debit sedimen dengan debit observasi. Hasil korelasi terbaik dapat dijadikan referensi dalam penentuan besaran konsentrasi sedimen dalam deteksi bahaya

banjir dan penurunan kualitas air sungai. Persamaan *sediment-discharge rating curve*:

$$Q_{si} = k \cdot \bar{C} \cdot Q_{wi} \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_s = a (Q_w)^b \dots \dots \dots (2)$$

dengan Q_{si} adalah debit sedimen pada pengukuran (ton/hari), k adalah faktor konversi satuan ($k = 0,0864$), C adalah konsentrasi sedimen rata-rata (mg/l) dari hasil uji filter sampel beban tersuspensi, Q_{wi} adalah debit hasil pengukuran ($m^3/detik$). Nilai a adalah indeks erosi dimana $a > 26$ menunjukkan erosi tinggi dan $a < 26$ menunjukkan erosi rendah. Sedangkan b adalah konstanta yang harganya bervariasi. Nilai konstanta a dan b adalah sembarang dan berbeda untuk suatu tempat. Persamaan diperoleh dari pembangkit regresi daya [27]–[29].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Rancang Bangun Alat Ukur Hidrometri

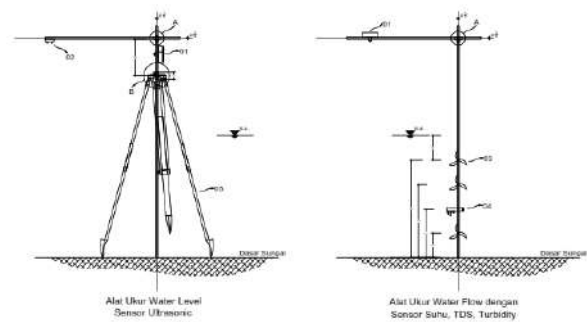
Beberapa rancang bangun alat serupa seperti *ultrasonic level gauge* masih memiliki beberapa kelemahan [5]–[8], diantaranya alat yang ada hanya menggunakan sensor *ultrasonic* untuk pengukuran tinggi muka air tanpa dilengkapi sensor untuk *water flow* dan *water quality*. Oleh karenanya invensi ini dirancang untuk mendapatkan data hidrometri dan angkutan sedimen secara *time series*.

Prinsip kerja alat ini digunakan untuk mengambil data-data dari air sungai, pengambilan data dilakukan setiap menit atau jam-jaman. Pengambilan data dari masing-masing sensor dilakukan secara berurutan dimulai dari:

1. Sensor Suhu. Untuk mengambil data suhu air yang nantinya digunakan untuk menghitung viskositas dan ppm air.
2. Sensor TDS Meter. Sensor ini digunakan untuk mengukur kadar TDS (*Total Dissolve Solid*) pada air, pada perhitungannya dibutuhkan suhu air yang sudah diambil dari sensor suhu.

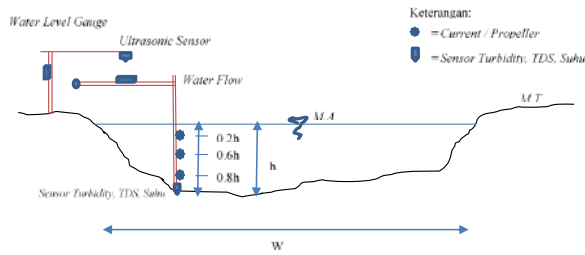
3. Sensor *Turbidity*. Sensor untuk mendeteksi tingkat kekeruhan air sungai.
4. Sensor *Water Flow*. Digunakan untuk mengukur arus air dengan menghitung putaran *propeller* yang digerakan oleh arus air. Arus air ini nantinya digunakan untuk mengukur debit air sungai. Sensor *water flow* sebanyak 3 buah yang diletakkan pada titik 0.2.h, 0.6.h dan 0.8.h.
5. Sensor *Ultrasonic*. Digunakan untuk mengukur jarak permukaan air dengan sensor, sehingga bisa diketahui tinggi air yang nantinya digunakan untuk mengukur debit air.

Hasil desain rancang bangun alat ukur hidrometri berbasis sensor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Desain Alat Hidrometri Terdiri Dari (1) Unit *powerbank* dan *memory*, (2) Unit Sensor *Ultrasonic Water Level*, (3) Unit Sensor *Propeller Water Flow*, (4) Unit Sensor TDS, *Turbidity* dan Suhu, (5) Unit *Tripod*

Konsep pemasangan alat ukur hidrometri seperti pada Gambar 2, bisa menyesuaikan medan lokasi pengukuran. Kondisi di lapangan tidak bisa diprediksi, sehingga pada saat pemasangan alat bisa menggunakan *tripod* pada kondisi dasar sungai relatif datar dan kedalaman air relatif dangkal, jika kondisi medan curam dan sungainya dalam, maka tanpa menggunakan *tripod* hanya dengan alat bantu tiang yang dipasang semi permanen di tebing sungai dengan gambarannya seperti Gambar 3.



Gambar 2. Sketsa Pemasangan Alat dan Pengukuran Hidrometri



(a)



(b)

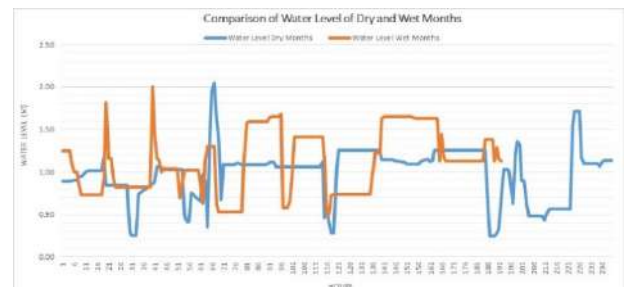
Gambar 3. Pengukuran Hidrometri Sungai (a) Dengan Tripod dan (b) Tanpa Tripod

Hasil pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 4. Pembacaan sensor alat hirometri tersebut dapat dipantau dari jarak jauh karena menggunakan teknologi WiFi yang bisa dilihat dari perangkat Android. Data pembacaan tersebut bisa di download dan diolah sesuai kebutuhan baik untuk analisis hidrologi dan hidrolika sungai.



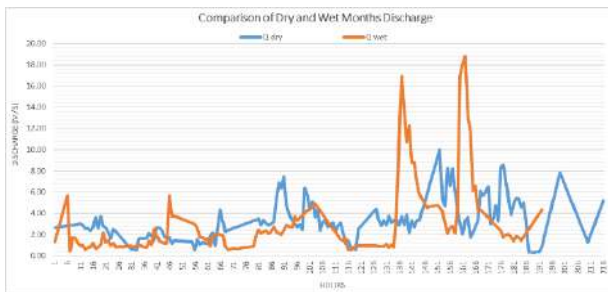
Gambar 4. Hasil Pembacaan Sensor pada Perangkat Android

Seperti contohnya pengolahan data sensor untuk keperluan analisis hidrologi, maka data yang perlu dianalisis berupa data tinggi muka air dari pembacaan sensor *ultrasonic*, dan data kecepatan aliran dari pembacaan sensor *propeller water flow*. Data-data tersebut digunakan untuk analisis debit observasi sungai baik secara jam-jaman atau harian. Data akan tersimpan secara otomatis di *memory card* sehingga akan memudahkan surveyor dalam pemantauan dan mengumpulkan data secara *time series*. Hasil pengolahan data menjadi data tinggi muka air dan data debit dapat dilihat grafiknya pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Pembacaan Tinggi Muka Air Jam-jaman Sungai Bomo untuk Musim Basah dan Musim Kering

Pada Gambar 5, dapat dilihat bentuk hidrograf tinggi muka air hasil pembacaan sensor jam-jaman selama 7 hari pengukuran. Terlihat bahwa tinggi air pada *base flow* baik pada bulan basah atau kering yaitu kurang lebih 1 m, dan tinggi air saat bulan basah lebih tinggi daripada saat bulan kering.



Gambar 6. Hidrograf Debit Observasi Jam-jamian Sungai Bomo untuk Musim Basah dan Musim Kering

Berdasarkan Gambar 6, diketahui bahwa hidrograf debit sungai jam-jamian dari hasil pengukuran selama 7 hari merupakan hasil konversi pembacaan data sensor tinggi muka air terhadap luas penampang basah sungai. Hidrograf sungai saat bulan basah lebih tinggi daripada di bulan kering dengan debit *base flow* rata-rata kurang lebih sebesar 2 m³/s.

3.2. Hasil Pengujian Karakteristik Sedimen

Hasil pengujian laboratorium sampel sedimen Sungai Bomo yang diambil pada saat musim basah dan kering berupa sampel *suspended load* dan *bed load* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Uji Laboratorium Sampel Sedimen Sungai Bomo pada Musim Basah

Data	Diameter Butiran Sungai Bomo					Berat Jenis Rata-Rata	Berat Isi rata-rata (gr/cm ³)	C rata-rata (mg/L atau ppm)
	Gravel (%)	Sand (%)	Silt/Clay (%)	Cu	Cc			
1	16.50	83.25	0.25	4.37	0.78	2.40	1.47	300
2	22.30	77.50	0.20	5.05	0.65	2.61	1.48	210
3	27.65	72.10	0.25	9.57	0.36	2.51	1.48	287
4	19.25	80.50	0.25	4.66	0.70	2.52	1.49	200
5	16.80	82.80	0.40	4.36	0.77	2.50	1.49	220
6	15.50	84.25	0.25	4.05	0.83	2.50	1.52	420
7	29.40	70.15	0.45	13.99	0.28	2.43	1.51	360
Rata-Rata	21.06	78.65	0.29	6.58	0.62	2.50	1.49	285

Diketahui pada Tabel 1, bahwa selama musim basah, gradasi butiran sedimen memiliki nilai Cu (*Uniformity Coefficient*) rata-rata 6,58 dan Cc (*Curvature Coefficient*) rata-rata 0,62. Berdasarkan USCS (*United Soil Classification System*), *well-graded soil* untuk kerikil memiliki nilai Cu > 4 dan 1 < Cc < 3; dan untuk pasir memiliki Cu > 6 dan 1 < Cc < 3. Dengan demikian, butiran sedimen kerikil dan pasir

memiliki keseragaman gradasi tetapi termasuk gradasi yang buruk, dengan berat jenis rata-rata 2,5 dan berat volume 1,49 gr/cm³ jenis pasir yang lebih dominan, dan konsentrasi sedimen rata-rata 285 mg/L.

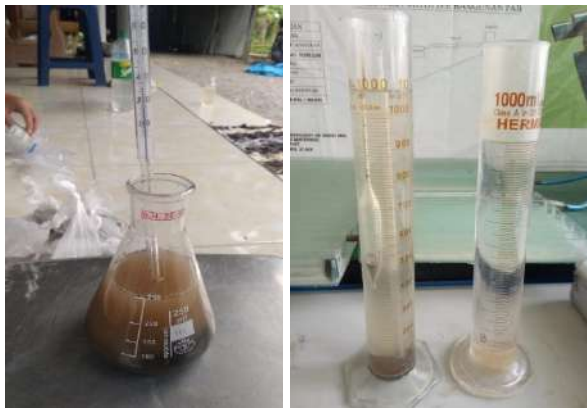
Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Uji Laboratorium Sampel Sedimen Sungai Bomo pada Musim Kering

Data	Diameter Butiran Sungai Bomo					Berat Jenis Rata-Rata	Berat Isi rata-rata (gr/cm ³)	C rata-rata (mg/L atau ppm)
	Gravel (%)	Sand (%)	Silt/Clay (%)	Cu	Cc			
1	54.90	44.95	0.15	4.59	1.30	2.50	1.57	485
2	56.25	43.70	0.05	2.80	0.95	2.49	1.59	385
3	76.50	23.45	0.05	2.44	1.42	2.49	1.57	447
4	42.40	57.50	0.10	4.24	1.13	2.56	1.55	327
5	41.10	58.80	0.10	4.40	1.18	2.55	1.58	320
6	37.90	62.00	0.10	4.59	1.17	2.58	1.59	320
7	53.50	46.40	0.10	4.12	1.19	2.68	1.56	440
Rata-Rata	51.79	48.11	0.09	3.88	1.19	2.55	1.57	389

Diketahui pada Tabel 2, bahwa pada musim kering, gradasi butiran sedimen memiliki nilai Cu (*Uniformity Coefficient*) rata-rata 3,88 dan Cc (*Curvature Coefficient*) rata-rata 1,19. Berdasarkan USCS (*United Soil Classification System*), *well-graded soil* untuk kerikil memiliki nilai Cu > 4 dan 1 < Cc < 3; dan untuk pasir memiliki Cu > 6 dan 1 < Cc < 3. Butir-butir sedimen kerikil dan pasir tidak memiliki keseragaman gradasi tetapi memiliki kelengkungan yang baik, sehingga butir-butir sedimen memiliki gradasi yang buruk, dengan berat jenis rata-rata 2,55 dan berat volume pasir kerikil 1,57 gr/cm³ lebih dominan dan konsentrasi sedimen rata-rata 389 mg/L. Untuk dokumentasi pengujian sample sedimen di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 7 - 9.



Gambar 7. Pengujian Konsentrasi Sedimen Dengan Kertas Filter



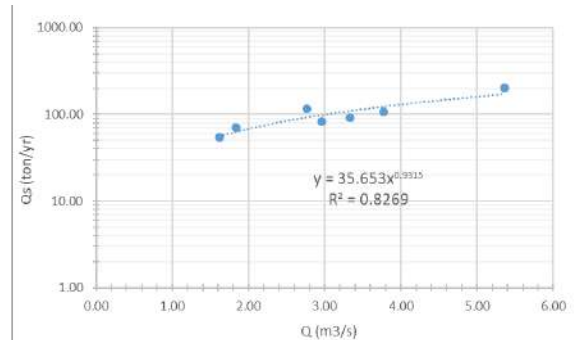
Gambar 8. (a) Pengujian Berat Jenis dan (b) Hidrometer Sampel Sedimen



Gambar 9. (a) Analisa Saringan dan (b) Berat Volume Sampel Sedimen

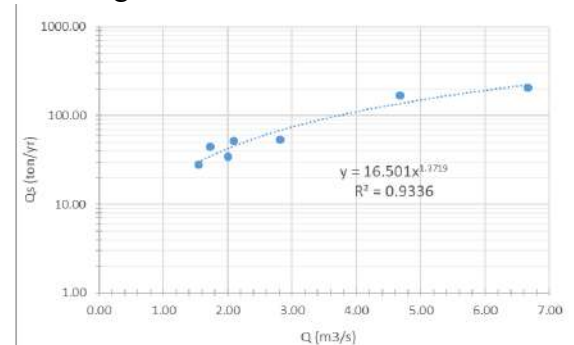
3.3. Hasil Analisis *Sediment-Discharge Rating Curve*

Hubungan korelasi antara debit tersuspensi (Q_s) terhadap debit sungai (Q) melalui *Sediment-Discharge Rating Curve* seperti terlihat pada Gambar 10 dan Gambar 11. Pada Gambar 10, diketahui bahwa korelasi antara Q dan Q_s pada musim kering diperoleh persamaan kurva $Q_{s\text{dry}} = 35.653 \cdot Q_w^{0.9315}$ dengan $R^2 = 0,8269$. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat musim kering perlu diwaspadai karena tanah lebih erosif karena menunjukkan nilai $a > 26$ yaitu 35,653 yang mengindikasikan erosi tinggi dan ketika musim pancaroba terjadi dapat menyebabkan banjir dan kelongsoran lereng dan tebing.



Gambar 10. *Sediment-Discharge Rating Curve* Musim Kering

Pada Gambar 11, diketahui bahwa pada musim basah didapatkan persamaan kurva $Q_{s\text{wet}} = 16.501 \cdot Q_w^{1.3719}$ dengan $R^2 = 0,9336$. Indikasi bahwa pada saat musim basah dengan nilai $a < 26$ yaitu 16,501 berarti erosi tanah lebih rendah, tapi memiliki probabilitas bisa menyebabkan peluapan sungai jika durasi intensitas hujannya sangat tinggi di daerah aliran sungai tersebut.



Gambar 11. *Sediment-Discharge Rating Curve* Musim Basah

Untuk rekapitulasi kalibrasi pembacaan sensor selama 14 hari pengukuran yaitu selama 7 hari di bulan basah dan 7 hari di bulan kering serta kalibrasi pembacaan sensor TDS pada alat terhadap hasil uji laboratorium konsentrasi sedimen dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Kalibrasi Data Pembacaan Sensor

Data	C (ppm)	TDS (ppm)	MAE TDS	Turbidity (mg/L)	H (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Qs (ton/th)
1	485	380	0.22	556	0.94	0.48	2.76	115.81
2	385	380	0.01	567	0.79	0.35	1.62	53.93
3	447	378	0.15	463	0.98	0.32	1.84	70.98
4	327	378	0.16	444	1.08	0.56	3.77	106.41
5	320	375	0.17	450	0.92	0.51	2.96	81.77
6	320	373	0.16	416	1.23	0.44	3.33	92.03
7	440	357	0.19	453	1.15	0.77	5.35	203.57

8	300	317	0.06	278	0.96	0.10	1.73	44.80
9	210	311	0.48	272	0.97	0.09	1.54	27.99
10	287	292	0.02	325	0.93	0.13	2.09	51.88
11	200	295	0.47	228	1.28	0.09	2.01	34.71
12	220	394	0.79	620	1.09	0.16	2.81	53.40
13	420	324	0.23	692	1.00	0.21	4.68	169.71
14	360	323	0.10	681	1.57	0.22	6.66	207.12
Rerata	337	348	0.23	460	1.06	0.32	3.08	93.86

No	Uraian	S	W	O	T
	dalam pembuatan alat				
8.	Perlu maintenance secara berkala				T 2
Total Nilai SWOT		S 8	W 7	O 8	T 4

Kelayakan Teknis:

$$= (S-W) + (O-T)$$

$$= (8 - 7) + (8 - 4) = 1 + 4 = 5$$

Pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa kalibrasi pembacaan sensor TDS terhadap hasil uji konsentrasi sedimen (C) didapatkan nilai MAE rata-rata sebesar 0,23 lebih kecil dari 1, sehingga data sensor dapat dinyatakan *reliable* sesuai kondisi di lapangan. Hasil pembacaan sensor didapatkan nilai TDS rata-rata 348 ppm, turbidity rata-rata sebesar 460 mg/L, tinggi air rata-rata 1,06 m, kecepatan aliran rata-rata sebesar 0,32 m/s, debit rata-rata sebesar 3,08 m³/s, dan debit sedimen rata-rata sebesar 93,86 ton/th.

3.4. Analisis Kelayakan

Studi kelayakan pengembangan alat ukur hidrometri berbasis sensor diuji berdasarkan analisa SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*).

Tabel 4. Penilaian Kelayakan Teknis Dengan Metode SWOT

No	Uraian	S	W	O	T
1.	Dinas terkait membutuhkan pencatatan data hidrometri yang lebih akurat	S 4			
2.	Memiliki banyak sungai-sungai yang berpotensi	S 4			
3.	Kondisi topografi Kab. Banyuwangi yang relatif curam dan rawan bencana banjir dan longsor		W 4		
4.	Banyak terjadi kerusakan alat AWLR		W 3		
5.	Sulitnya mendapatkan data hidrometri dan konsentrasi sedimen secara time series			O 4	
6.	Belum adanya alat ukur hidrometri berbasis sensor dengan ultrasonic, water flow, turbidity, tds, dan suhu			O 4	
7.	Membutuhkan banyak dana				T 2

Berdasarkan Tabel 4, hasil analisis SWOT untuk kelayakan teknis dalam pengembangan alat ukur hidrometri berbasis sensor untuk deteksi konsentrasi sedimen, menunjukkan bahwa memiliki score total sama dengan 5 yang berarti ≥ 0 , sehingga layak untuk direalisasikan dengan perbaikan sebagai berikut:

1. Meningkatkan model prototype alat ukur hidrometri yang lebih kompatibel dan resisten terhadap air.
2. Memperbaiki kualitas bahan agar tidak mudah pecah atau retak.
3. Memperbaiki jaringan listrik dan perangkat lunaknya agar tidak mudah *error*.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian karakteristik fisik sedimen sungai Bomo diperoleh nilai rata-rata Cu 3,88 – 6,58 dan nilai rata-rata Cc 0,62 – 1,19, berat jenis rata-rata 2,5 – 2,55 dan berat volume 1,49 – 1,57 gr/cm³. Hasil kalibrasi pembacaan sensor TDS terhadap hasil uji konsentrasi sedimen (C) didapatkan nilai MAE rata-rata sebesar 0,23 lebih kecil dari 1, sehingga data sensor dapat dinyatakan *reliable* sesuai kondisi di lapangan. Hasil pembacaan sensor didapatkan nilai TDS rata-rata 348 ppm, turbidity rata-rata sebesar 460 mg/L, tinggi air rata-rata 1,06 m, kecepatan aliran rata-rata sebesar 0,32 m/s, debit rata-rata sebesar 3,08 m³/s, dan debit sedimen rata-rata sebesar 93,86 ton/th. Hasil *sediment-discharge rating curve* pada musim kering diperoleh persamaan $Qs_{dry} = 35.653.Qw^{0.9315}$ dengan $R^2 = 0.8269$. Pada musim basah diperoleh persamaan $Qs_{wet} = 16.501.Qw^{1.3719}$ dengan $R^2 = 0.9336$. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat musim kering perlu waspada karena lahan lebih erosif saat musim pancaroba karena nilai $a > 26$ yaitu 35.653 yang mengindikasikan laju

erosi tinggi dan dapat menyebabkan banjir dan kelongsoran lereng. Alat ukur hidrometri berbasis sensor layak dikembangkan oleh industri sebagai alat deteksi konsentrasi sedimen sebagai indikator muatan sedimen dalam upaya mitigasi bencana banjir dan tindakan konservasi lahan.

5. Saran

Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut tentang perumusan empiris *sediment load* khususnya pada DAS bertipe bulu burung berdasarkan hasil pengukuran hidrometri berbasis sensor.

6. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Banyuwangi atas pendanaan PNPB Politeknik Negeri Banyuwangi tahun 2023 pada skema Penelitian Pranata Laboratorium Pendidikan.

7. Daftar Pustaka

- [1] R. D. Noviandani, Z. Erwanto, and Q. Shofiyah, "Evaluasi Kapasitas Pada Sungai Tambong Tengah Terhadap Potensi Luapan Aliran," in *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 626–633.
- [2] C. Asdak, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2014.
- [3] Z. Erwanto, D. D. Pranowo, D. Widakdo, and N. Wilujeng, "The Influence of Sediment Loads on the Irrigation Discharge in The Upstream and Downstream of the Major River in Banyuwangi Regency," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 207, no. 012066, pp. 1–14, 2018.
- [4] Z. Erwanto and N. Anwar, "Modelling the Sediment Load in the Bird Feather-Type Watersheds along the Main Rivers of Banyuwangi Regency," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1097, no. 1, p. 012050, 2022.
- [5] К. Б. Гусейнов, "Ultrasonic Level Gauge," RU2419074C1, 2006.
- [6] M. Wada, "Ultrasonic flow rate measurement method and ultrasonic flow rate measurement device," JP2011122831A, 2011.
- [7] В. В. Сафонов, "Device to measure liquid flow in open canals," RU2485449C1, 2006.
- [8] M. Wada, "Ultrasonic flow rate measurement method and flow rate measurement apparatus," JP2010190775A, 2010.
- [9] M. Mousa, X. Zhang, and C. Claudel, "Flash Flood Detection in Urban Cities Using Ultrasonic and Infrared Sensors," *IEEE Sens. J.*, vol. 1, 2016.
- [10] G. Leeks, "Measuring Sediment Loads, Yields, and Source Tracing," *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd., pp. 1–10, 2005.
- [11] Soewarno, *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan (Hidrometri)*. Bandung: Nova, 1991.
- [12] K. M. Arsyad, *Modul Perhitungan Hidrologi Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*. Bandung: Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi, 2017.
- [13] M. Heidarnejad M.S, S. H. Golmaee, A. Mosaedi, and M. Z. Ahmadi, "Estimation of Sediment Volume in Karaj Dam Reservoir (Iran) by Hydrometry Method and a Comparison with Hydrography Method," *Lake Reserv. Manag.*, vol. 22, no. 3, pp. 233–239, 2009.
- [14] R. J. Manuhana and S. Dibyosaputro, "Kajian Muatan Sedimen Tersuspensi Di Sungai Code Daerah Istimewa Yogyakarta," *J. Bumi Indones.*, vol. 6, no. 4, 2017.
- [15] D. A. Wulandari, Suripin, and Syafrudin, "Evaluasi Penggunaan Lengkung Laju Debit-Sedimen (Sediment-Discharge Rating Curve) Untuk Memprediksi Sedimen Layang," 2004.
- [16] H. B. Ghadim, M. Salarijazi, and I. Ahmadianfar, "Developing a Sediment Rating Curve Model Using the Curve Slope," *Pol. J. Environ. Stud.*, vol. 29, no. 2, pp. 1151–1159, 2020.
- [17] K. Khanchoul and M. B. Jansson, "Sediment Rating Curves Developed On Stage And Seasonal Means In Discharge Classes For The Mellah Wadi, Algeria," *Geogr. Ann*, vol. 90 A, no. 3, pp. 227–236, 2008.
- [18] D. E. Walling, "Limitations of the Rating Curve Technique for Estimating Suspended Sediment Loads, With Particular Reference to British Rivers," *Eros. solid matter Transp. Intl. waters*, vol. 122, pp. 34–78, 1977.
- [19] S. Azadi, H. Nozari, and E. Godarzi, "Predicting Sediment Load Using Stochastic Model and Rating Curves in a Hydrological

- Station,” *J. Hydrol. Eng.*, vol. 25, no. 8, pp. 1–11, 2020.
- [20] Z. A. Boukhrissa, K. Khanchoul, Y. Le Bissonnais, and M. Tourki, “Prediction of sediment load by sediment rating curve and neural network (ANN) in El Kebir catchment, Algeria,” *J. Earth Syst.*, vol. 122, no. 5, pp. 1303–1312, 2013.
- [21] S. S. Tfwala and Y.-M. Wang, “Estimating Sediment Discharge Using Sediment Rating Curves and Artificial Neural Networks in the Shiwen River, Taiwan,” *Water*, vol. 8, no. 53, pp. 1–15, 2016.
- [22] D. Hapsari, T. Onishi, F. Imaizumi, K. Noda, and M. Senge, “The Use of Sediment Rating Curve under its Limitations to Estimate the Suspended Load,” *Rev. Agric. Sci.*, vol. 7, pp. 88–101, 2019.
- [23] N. Efthimiou, “The role of sediment rating curve development methodology on river load modeling,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 191, p. 108, 2019.
- [24] M. B. Jansson, “Comparison of Sediment Rating Curves Developed on Load and on Concentration,” *Nord. Hydrol.*, vol. 28, no. 3, pp. 189–200, 1997.
- [25] S. T. Harrington and J. R. Harrington, “An assessment of the suspended sediment rating curve approach for load estimation on the Rivers Bandon and Owenabue, Ireland,” *Geomorphology*, vol. 185, pp. 27–38, 2013.
- [26] B. Hu, H. Wang, Z. Yang, and X. Sun, “Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications,” *Quat. Int.*, vol. 230, pp. 34–43, 2011.
- [27] Z. Erwanto, N. Anwar, and B. Sarwono, “A Study Of Sediment Delivery Ratio Using AVSWAT-X In The Catchment Area Of Pacal Reservoir Of Bojonegoro,” *ITS J. Civ. Eng.*, vol. 30, no. 2, pp. 90–101, 2010.
- [28] A. T. Dewi, Z. Erwanto, and Y. Ulfiyati, “Studi Korelasi Debit Sungai Dan Suspended Load Pada Upstream Bendung Di Hulu Sungai-Sungai Besar Kabupaten Banyuwangi,” *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–7, 2018.
- [29] E. W. Setyaningrum, Z. Erwanto, S. H. Yuniari, K. P. Prapti, and A. T. K. Dewi, *Manajemen Konservasi Lahan dan Sumberdaya Pesisir*. Purbalingga: Eureka Media Aksara, 2022.