

Analisa Ketidakpastian Pengukuran Sensor Curah Hujan Tipe *Tipping Bucket*

Analysis of the Uncertainty of the Tipping Bucket Type of Rainfall Sensor Measurement

**¹Yoga Alif Kurnia Utama, ²Muhammad Shofwan Donny Cahyono, ³Leonardus Setia Budi
Wibowo**

^{1,2}Universitas Widya Kartika, Jl. Sutorejo Prima Utara II/1, Surabaya

³Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Jl Raya Puspiptek, Tangerang Selatan

¹yoga.alif@widyakartika.ac.id, ²donnycahyono88@gmail.com, ³leon004@brin.go.id

Abstrak –Saat ini, hujan sangat sulit untuk diprediksi dikarenakan adanya fenomena perubahan iklim pada dekade terakhir ini. Jika curah hujan dapat diprediksi maka ini bisa menambah waktu untuk kegiatan mitigasi banjir. Jadi, sangat penting untuk mendapatkan data curah hujan yang teliti. Penelitian ini akan membuat sebuah sensor curah hujan bertipe *tipping bucket*. Penelitian ini akan berfokus pada analisa penyebab kesalahan pengukuran yang terjadi pada jenis sensor curah hujan *tipping bucket* ini. Dua buah sensor telah dibuat pada penelitian ini dimana keduanya memiliki bahan dan ukuran yang berbeda. Sensor pertama memiliki bahan akrilik dan ukuran tampungan 5 ml dengan sensor *photo interrupter*, sensor kedua memiliki bahan ASA dan ukuran tampungan 10 ml dengan sensor magnet. Keduanya akan mengukur volume hujan yang sama. Hasil menunjukkan bahwa sensor pertama memiliki rata-rata kesalahan pengukuran yang kecil yakni sebesar 0.86% dibandingkan sensor kedua yang memiliki rata-rata kesalahan sebesar 1.7%. Analisis menunjukkan bahwa kesalahan pengukuran yang terjadi adalah kesalahan mekanik, kesalahan elektronik, kesalahan resolusi, dan kesalahan adhesi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa jika kesalahan ini diminimalisir maka pengukuran sensor akan lebih teliti.

Kata kunci : Sensor Curah Hujan, *Tipping Bucket*, Sensor Magnet, Ketidakpastian Pengukuran.

Abstract - Currently, rain is very difficult to predict due to the phenomenon of climate change in the last decade. If the rainfall is predictable then this can add time for flood mitigation activities. So, it is very important to get accurate rainfall data. This research will create a *tipping bucket* type rainfall sensor. This study will focus on analyzing the causes of measurement errors that occur in this type of *tipping bucket* rainfall sensor. Two sensors have been made in this study, both of which have different materials and sizes. The first sensor has an acrylic material and the reservoir size is 5 ml with a *photo interrupter* sensor, the second sensor has an ASA material and the reservoir size is 10 ml with a magnetic sensor. Both will measure the same volume of rain. The results show that the first sensor has a measurement error of 0.86% compared to the second sensor which has 1.7%. The analysis shows that the measurement errors that occur are mechanical errors, electronic errors, resolution errors, and adhesion errors. So, it can be concluded that if this error is minimized, the sensor measurement will be more accurate.

Keywords : Rainfall Sensor, *Tipping Bucket*, Magnet Sensor, Measurement Uncertainty.

I. PENDAHULUAN

Dekade ini, perubahan iklim atau *global warming* menjadi salah satu fenomena yang kita rasakan saat ini. Perubahan iklim ini merupakan peristiwa yang dipicu oleh aktivitas manusia yang menciptakan gas rumah kaca yang dapat meningkatkan suhu atmosfer di bumi [1-3]. Salah satu efek perubahan iklim ini adalah terjadinya perubahan durasi musim seperti musim kemarau

maupun musim penghujan [4]. Hal ini mengakibatkan kemarau atau hujan yang lebih lama daripada biasanya. Hujan yang lebih lama daripada biasanya akan menyebabkan bencana banjir di mana mana [5].

Banjir adalah salah satu bencana paling umum di Indonesia. Dalam siaran pers Badan Riset dan Inovasi Nasional yang tercantum dalam nomor: 105/SP/HM/BKKP/VIII/2021 disebutkan bahwa

pada tahun 2020 telah terjadi 4650 kejadian bencana alam yang didominasi oleh bencana alam hidro-meteorologi dimana bencana banjir merupakan salah satu diantaranya [6].

Menurut data yang lebih rinci, pada tahun 2021 yang diambil dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana, tragedi bencana alam yang biasa terjadi di Indonesia kurang lebih 37% yang merupakan berupa bencana banjir [7]. Sedangkan provinsi yang paling sering terkena banjir adalah Provinsi Jawa Timur dimana hampir 50% bencana banjir yang terjadi adalah bencana banjir.

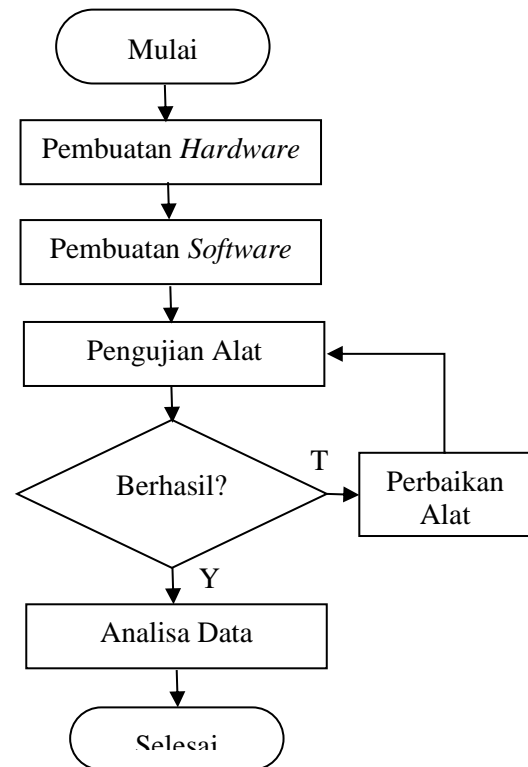
Dari data ini, dapat disimpulkan yakni dibutuhkan data curah hujan yang teliti agar dapat memperkirakan banjir di suatu daerah. Hal ini digunakan untuk memberikan waktu tambahan bagi mitigasi bencana atau mencegah terjadinya bencana yang berulang di masa yang akan datang. Jadi, data curah hujan yang teliti sangat penting untuk diperoleh. Data ini hanya didapatkan dari pengukuran menggunakan sensor curah hujan.

Banyak sekali penelitian yang berkaitan dengan pembuatan pengukur curah hujan ini. Ada banyak sekali jenis sensor curah hujan yaitu penakar hujan tipe ombrometer observatorium, tipe bendix, tipe *tipping bucket*, tipe *weighting bucket*, tipe optical, dan lain sebagainya. Salah satunya penakar curah hujan paling sering diteliti yakni penakar *tipping bucket* [8-11]. Sensor ini bekerja dengan cara mengukur jumlah air hujan yang jatuh dengan sistem jungkat jungkit. Volume air hujan akan dihitung berdasarkan banyak pergerakan jungkat jungkit yang terjadi [12]. Tetapi keseluruhan penelitian tersebut belum membahas mengenai analisa kesalahan pengukuran yang terjadi pada sensor curah hujan ini.

Penelitian ini akan membuat dua buah penakar curah hujan dengan tipe *tipping bucket* yang datanya akan dikirim melalui jaringan internet karena semua dapat terhubung menjadi satu melalui jaringan internet sehingga jika terjadi pengiriman data dan lain-lain dapat dengan mudah dilakukan [13]. Dua buah sensor ini memiliki bahan dan volume tampungan serta sensor yang berbeda. Dari dua sensor ini akan dihitung kesalahan pengukuran yang terjadi sekaligus menganalisis penyebab kesalahan pengukuran yang terjadi pada sensor curah hujan tersebut. Dari penelitian ini diharapkan pembuatan sensor curah hujan akan menjadi lebih akurat di kemudian hari.

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap. Secara garis besar, penelitian ini dimulai dari pembuatan alat, pembuatan program, dan pengujian alat, serta analisa data yang mana diagram alirnya secara jelas dapat dilihat pada **Gambar 1**.



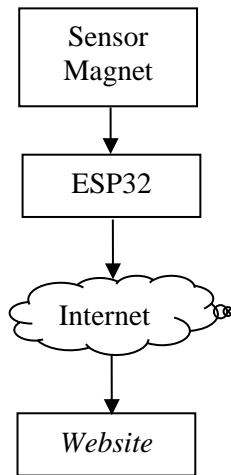
Gambar 1. Flowchart Penelitian.

Dapat dilihat pada **Gambar 1** maka tahapan penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Pembuatan *Hardware*

Pembuatan *hardware* disini terbagi menjadi dua yaitu pembuatan mekanik sensor curah hujan dan pembuatan rangkaian untuk membaca sensor curah hujan yang telah dibuat. Sedangkan rangkaian pembaca sensor curah hujan memiliki komponen-komponen utama seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 2**.

Penelitian ini membuat dua sensor curah hujan dengan bahan, volume tampungan, dan sensor yang berbeda. Sensor pertama memiliki bahan akrilik dan ukuran tampungan dua ml dengan sensor *photo interrupter*, sensor kedua memiliki bahan ASA dan ukuran tampungan lima ml dengan sensor magnet



Gambar 2. Blok Diagram Rangkaian

Seperti yang diperlihatkan **Gambar 2**, sistem terdiri dari ESP32 sebagai kontroler utama, dan pembacaan sensor curah hujan bergantung pada sensor *photo interrupter* dan sensor magnetik. Ketika salah satu jungkat-jungkit bergerak, maka piasnya jungkat jungkit akan mengenai magnet kemudian ESP32 menghitung berapa kali jungkat jungkit itu bergerak.

2. Pembuatan *Software*

Pada alat ini, *software* digunakan sebagai program untuk membaca curah hujan dari sensor yang telah dibuat. *Software* ini akan dibuat dengan arduino IDE. Hasil dari pembacaan sensor akan dikirim menggunakan jaringan internet yang diambil dari modem USB. Data akan langsung ditampilkan di sebuah *website* dengan tampilan yang berbentuk tabel.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, cara kerja sensor ini adalah menghitung volume air hujan yang tertampung dengan cara menghitung pergerakan jungkat jungkit yang terjadi. Data tersebut akan dikalikan dengan volume tampungan air maksimal yang tertampung di setiap jungkat jungkit maka curah hujan akan diketahui. Persamaan dalam menghitung curah hujan ini diperlihatkan pada persamaan (1) [13].

$$CH = \frac{n \cdot vl}{L} \quad (1)$$

dimana:

CH = Curah hujan (mm)

n = Banyaknya jungkat jungkit

vl = Volume jungkat jungkit (mm³)

L = Luas penampang jatuh hujan (mm²)

3. Pengujian dan analisis data

Setelah sensor curah hujan jadi, maka tahap selanjutnya akan dilakukan pengujian dan analisa data. Curah hujan akan diukur oleh dua alat pengukur curah hujan yang telah diciptakan, dan ombrometer manual. Sensor mengukur curah hujan selanjutnya datanya akan dikirim ke *website*, sedangkan ombrometer akan kita catat secara manual.

Dari dua data tersebut maka akan dilakukan perhitungan nilai kesalahan rata-rata yang dibuat oleh sensor curah hujan yang telah dibuat. Nilai rata-rata kesalahan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) di bawah ini [14].

$$e = \frac{|x_o - x_s|}{x_o} \times 100\% \quad (2)$$

dimana:

e = Kesalahan pengukuran (%)

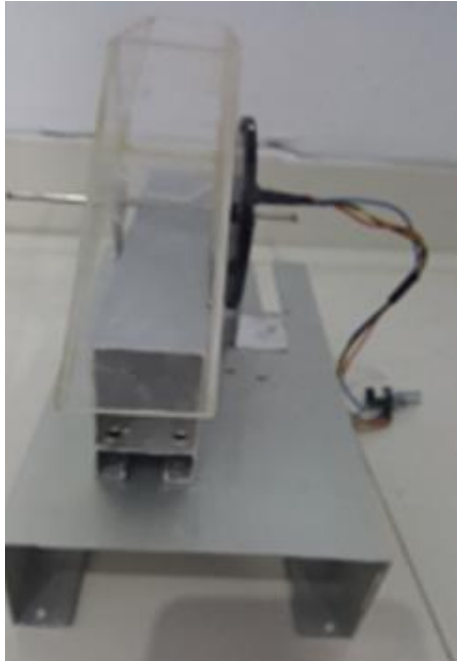
x_o = Pengukuran ombrometer (mm)

x_s = Pengukuran sensor curah hujan (mm)

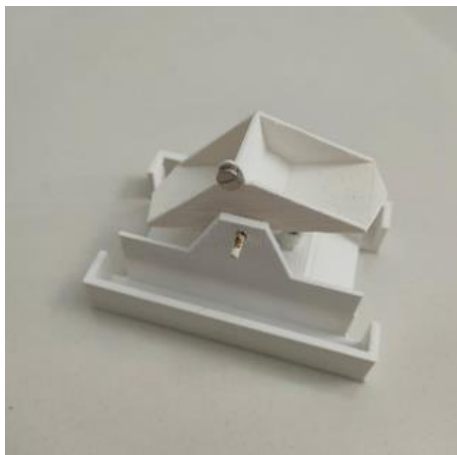
Setelah melakukan pengujian alat, selanjutnya dilakukan analisis penyebab kesalahan pengukuran yang terjadi pada sensor curah hujan yang telah dibuat. Hal ini penting karena dapat meningkatkan ketelitian sensor.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa, penelitian ini terdiri dari tiga tahapan. Tahapan pertama adalah pembuatan alat. Sensor pertama memiliki bahan akrilik dan ukuran tampungan 5 ml dengan sensor *photo interrupter*, sensor kedua memiliki bahan ASA dan ukuran tampungan 10 ml dengan sensor magnet. Keduanya akan mengukur volume hujan yang sama. Perbedaan kedua sensor ini akan mewakili jenis kesalahan pengukuran sensor curah hujan tersebut yaitu kesalahan akibat air yang menempel di sensor (kesalahan adhesi), kesalahan akibat jenis sensor yang mempengaruhi titik berat *tipping bucket* (kesalahan elektronik) sehingga diperlukan pengaturan mekanis agar sensor dapat berkerja (kesalahan mekanik), kesalahan akibat volume tampungan *tipping bucket* yang terlalu besar (kesalahan resolusi). Sensor pertama dan sensor kedua diperlihatkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.

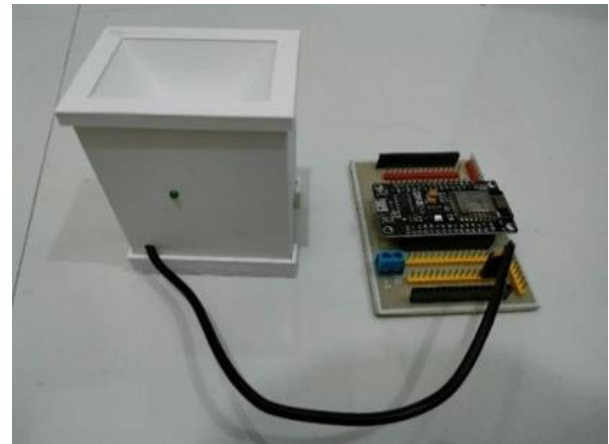


Gambar 3. Sensor Pertama



Gambar 4. Sensor Kedua

Rangkaian pembacaan curah hujan sensor pertama memanfaatkan sensor *photo interrupter* dan sensor kedua memanfaatkan sensor magnetik tipe KY-003. Sensor *photo interrupter* bekerja ketika sensor akan terkena lubang atau tidak. Ketika sensor terkena lubang akan menghasilkan tegangan lima Volt, dan jika tidak terkena lubang menghasilkan nilai nol Volt. Pada sensor kedua, sensor magnetik KY-003 akan bekerja ketika magnet mengenai sensor. Ketika magnet mendekati ke sensor, sensor tersebut akan menghasilkan tegangan lima Volt sedangkan ketika magnet menjauhi sensor maka sensor tersebut menghasilkan nilai tegangan nol Volt [15]. Arduino akan membaca pergantian tegangan tersebut (*edge*). Contoh pemasangan sensor dan rangkaian dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Rangkaian Pembaca Sensor

Selanjutnya data akan dikirim ke dalam *website*, dimana data akan disertai dengan tanggal dan waktu pengambilan data. Semua data tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel di dalam *website*.

Selanjutnya data ini akan dibandingkan dengan data ombrometer manual yang telah dicatat dalam tabel. Lalu dihitung tingkat kesalahan rata-rata yang terjadi. Data ini dapat dilihat pada **Tabel I**.

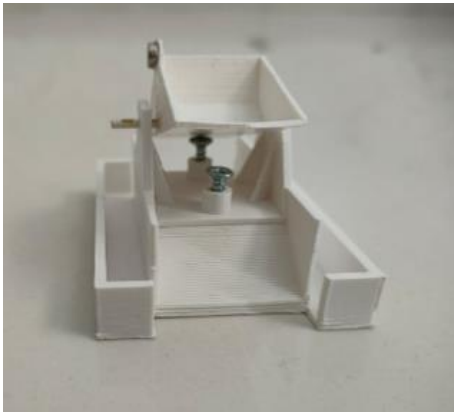
Tabel I. Tabel hasil pengujian

No	Xs ₁ (mm)	Xs ₂ (mm)	Xo (mm)	E ₁ (%)	E ₂ (%)
1	0.21	0.19	0.2	5.00	5.00
2	0.51	0.52	0.5	2.00	4.00
3	0.69	0.72	0.7	1.43	2.86
4	0.92	0.97	0.9	2.22	7.78
5	1.31	1.33	1.3	0.77	2.31
6	1.89	1.94	1.9	0.53	2.11
7	2.29	2.28	2.3	0.43	0.87
8	2.81	2.78	2.8	0.36	0.71
9	3.41	3.41	3.4	0.29	0.29
10	3.79	3.77	3.8	0.26	0.79
11	4.19	4.17	4.2	0.24	0.71
12	4.61	4.57	4.6	0.22	0.65
13	5.42	5.44	5.4	0.37	0.74
14	6	6.11	5.9	1.69	3.56
15	6.19	6.16	6.2	0.16	0.65
16	6.69	6.71	6.7	0.15	0.15
17	7.1	7.15	7	1.43	2.14
18	7.51	7.48	7.5	0.13	0.27
19	8.1	8.12	8	1.25	1.50
20	8.39	8.41	8.4	0.12	0.12
21	8.89	8.93	8.9	0.11	0.34
22	9.52	9.61	9.5	0.21	1.16
23	10.1	10.16	10	1.00	1.60
24	10.31	10.27	10.3	0.10	0.29
25	11.1	11.21	11	0.91	1.91
Rata-Rata Error Pengukuran				0.86	1.70

Dengan melihat **Tabel 1**, maka dapat disimpulkan yakni rata-rata nilai kesalahan yang terjadi adalah sebesar 0.86% pada sensor pertama dan 1.7% pada sensor kedua. Ada beberapa hal yang menyebabkan tingkat kesalahan sebesar 1.7% tersebut. Ada 4 jenis kesalahan yang menyebabkan eror pengukuran pada pengukur curah hujan tipe *tipping bucket* ini. Kesalahan-kesalahan tersebut yakni sebagai berikut:

1. Kesalahan Mekanik

Kesalahan mekanik terjadi karena jungkat jungkit sensor curah hujan tidak bekerja dengan baik. Hal ini dikarenakan kesalahan pembuatan mekanik atau dikarenakan tidak tepatnya pengaturan yang dilakukan.



Gambar 6. Pengaturan Sensor

Sebelum sensor bekerja maka diperlukan semacam pengaturan mekanis dengan cara memutar sekrup seperti yang dilihat pada **Gambar 6**. Ketika sekrup terlalu tinggi atau terlalu rendah maka jungkat-jungkit tidak dapat bergerak. Oleh karena itu diperlukan percobaan awal untuk memastikan bahwa jungkat jungkit sensor curah hujan dapat bergerak.

2. Kesalahan Elektronik

Kesalahan elektronik terjadi ketika sensor tidak dapat bekerja dengan baik. Sensor pada sensor kedua ini bekerja dengan memanfaatkan sensor magnet, oleh karena itu diperlukan magnet kecil dimana magnet ini memiliki berat juga. Berat magnet akan mengakibatkan titik berat jungkat jungkit akan berpindah sehingga dibutuhkan pengaturan mekanik lebih lanjut.

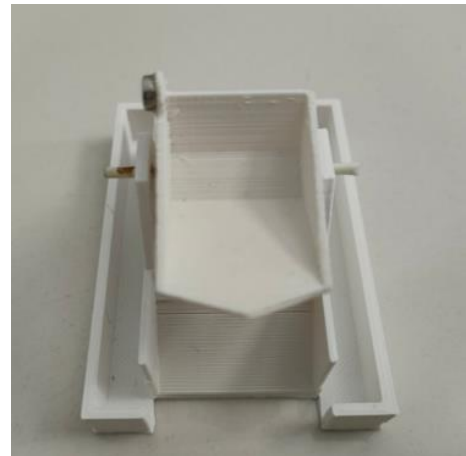
Disamping itu, sensor magnet membutuhkan jarak minimal antara sensor dengan magnet. Hal ini dibutuhkan agar sensor tersebut bekerja dengan baik. Jika jarak terlalu

jauh maka sensor tidak dapat mendeteksi medan magnet yang ada di dekatnya. Hal ini merupakan kesalahan yang harus ditanggulangi agar sensor mengukur dengan lebih teliti.

3. Kesalahan Resolusi

Kesalahan resolusi terjadi karena sensor curah hujan tipe *tipping bucket* membutuhkan jumlah berat air minimal yang harus tertampung agar jungkat jungkit bekerja. Misal jumlah air yang dibutuhkan agar jungkat jungkit bekerja adalah 10 ml.

Jika volume air yang tertampung di jungkat jungkit kurang dari 10 ml maka jungkat jungkit tidak dapat bekerja. Jungkat jungkit tidak dapat bekerja maka air yang tertampung ini tidak dapat terukur. Hal ini akan menyebabkan kesalahan pengukuran pada sensor ini. Volume yang tertampung pada jungkat jungkit dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Volume Tampungan

Kekurangan ini tidak dapat dihilangkan secara 100% tetapi kita dapat meminimalisir dengan cara mengecilkan volume tampungan jungkat jungkit. Makin kecil volume tampungan jungkat jungkit maka, makin teliti suatu sensor curah hujan.

4. Kesalahan Adhesi

Kesalahan adhesi ini adalah kesalahan yang timbul dikarenakan sifat adhesi air. Sifat adhesi adalah gaya tarik menarik antara dua partikel atau lebih yang tidak sejenis. Dalam hal ini, air akan tarik menarik dengan bahan ASA. Jadi tidak semua air akan tertampung di dalam tampungan jungkat-jungkit. Air akan melekat pada lapisan luar sensor. Hal ini dapat diperlihatkan pada **Gambar 8**. Karena tidak semua air tertampung maka akan terjadi

kesalahan pengukuran karena hal ini. Kesalahan ini juga tidak dapat dihilangkan secara 100%, tetapi bisa dikurangi dengan cara mengubah bahan sensor curah hujan agar gaya adhesi air bisa berkurang sehingga seluruh air dapat tertampung di jungkat jungkit sensor.



Gambar 8. Sifat Adhesi Air

IV. KESIMPULAN

Penakar curah hujan *tipping bucket* telah dibuat di penelitian ini. Penelitian ini telah mengukur tingkat kesalahan pengukuran yang terjadi pada sensor tersebut, sekaligus melakukan analisa sumber kesalahan pengukuran yang terjadi.

Hasil menunjukkan bahwa sensor pertama memiliki rata-rata kesalahan pengukuran yang kecil yakni sebesar 0.86% dibandingkan sensor kedua yang memiliki rata-rata kesalahan sebesar 1.7%. Analisis menunjukkan bahwa kesalahan pengukuran yang terjadi pada sensor curah hujan tipe *tipping bucket* ini adalah kesalahan mekanik, kesalahan elektronik, kesalahan resolusi, dan kesalahan adhesi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa jika kesalahan ini diminimalisir maka pengukuran sensor akan lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Pratama, "Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi" *Buletin Utama Teknik*, vol. 14, no. 2, pp. 120–126, 2019
- [2] M. Mustangin, "Perubahan Iklim dan Aksi Menghadapi Dampaknya: ditinjau dari Peran serta Perempuan Desa Pagerwangi" *Jurnal Pendidikan dan Pemberdayaan Masyarakat*, vol. 4, no. 1, pp. 80–89, 2017
- [3] H.C. Haryanto, S.A. Prahara, "Perubahan Iklim, Siapa Yang Bertanggung Jawab?" *Insight: Jurnal Ilmiah Psikologi*, vol. 21, no. 2, pp. 50–61, 2019
- [4] L. Utama, and A. Naumar, "Kajian Kerentanan Kawasan Berpotensi Banjir Bandang dan Mitigasi Bencana pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Kurnaji Kota Padang" *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 9, no. 1, pp. 21–28, 2015
- [5] M. F. Sigid, M. R. Abdillah, and Z. L. Dupe, "Perubahan Karakteristik Curah Hujan Jangka Panjang di Provinsi Jawa Barat Tahun 1921-2010 (Long-Term Changes in Rainfall Characteristics in West Java)" *Jurnal Sains Dirgantara*, vol. 18, no. 2, pp. 99–100, 2021
- [6] R. Jati, "Bencana Hidrometeorologi Dominan Sepanjang Awal Januari Hingga Akhir April 2021," 2020. [Online]. Available: <https://bnpb.go.id/berita/bencana-hidrometeorologi-dominan-sepanjang-awal-januari-hingga-akhir-april-2021->. [Accessed: 05-Mar-2022].
- [7] BNPB, "Data Informasi Bencana Indonesia," 2020. [Online]. Available: [https://dibi.bnpb.go.id/-](https://dibi.bnpb.go.id/). [Accessed: 15-Mar-2022].
- [8] M. Rif'an, H. D. Saputra, and Nurssa'adah, "Perancangan dan Pembuatan Sensor Curah Hujan Tipe *Tipping Bucket* dengan Tampilan LCD" *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2013
- [9] R. G. Permana, E. Rahmawati, Dzulkifli, "Perancangan dan Pengujian Penakar Hujan Tipe *Tipping Bucket* dengan Sensor *Photo-Interrupter* Berbasis Arduino" *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, vol. 4, no. 3, pp. 71–76, 2015
- [10] M. Syahbeni, A. Budiman, R. Syelly, I. Laksmana, Hendra, "Rancang Bangun Pendeteksi Curah Hujan Menggunakan *Tipping Bucket Rain Sensor* dan Arduino Uno" *Jurnal Agroteknika*, vol. 1, no. 2, pp. 51–62, 2018
- [11] A. Muid, M. Zen, R. Adriat, "Prototipe Alat Ukur Curah Hujan Berbasis Sensor Reed Switch dengan Antarmuka Website" *Jurnal Positron*, vol. 9, no. 1, pp. 33–38, 2019
- [12] M. F. Kurnia, M. T. Hadyat, and H. T. Frianto, "Rancang Bangun Rainfall System Sebagai Control System Pada Miniatur Bendungan Berbasis NODEMCU ESP8266" in *Proceedings of Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan*, pp. 30-38, 2021
- [13] Y. A. K. Utama, Y. Widiyanto, Y. Hari, and M. Habiburrahman, "Design of Weather Monitoring Sensors and Soil Humidity in Agriculture Using Internet of Things (IoT)" *Transaction of Machine Learning and Artificial Intelligence*, vol. 7, no. 1, pp. 10–20, 2019
- [14] Tamaji, Y. A. K. Utama, "Penggunaan Neuro Fuzzy pada Sistem Monitoring Ketinggian Air Sungai" *Jurnal Informatika Kaputama (JIK)*, vol. 5, no. 1, pp. 164–173, 2021
- [15] A. P. Utomo, N. A. Wirawan, "Perancangan Alat Monitoring Air Conditioner Menggunakan Mikrokontroler Wemos" in *Proceedings of Industrial Engineering Seminar and Call for Paper*, pp. 44-53, 2018