

PERANCANGAN DAN PENGUJIAN PENAKAR HUJAN TIPE TIPPING BUCKET DENGAN SENSOR PHOTO – INTERRUPTER BERBASIS ARDUINO

Ryan Galih Permana, Endah Rahmawati, Dzulkifli

Program Studi S1 Fisika, FMIPA, UNESA, E-mail ryangpermana@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang penakar hujan dengan metode *tipping bucket* yang digunakan untuk memperoleh data curah hujan. Penakar hujan ini menggunakan prinsip dasar dari pengungkit yang terbuat dari 2 buah bucket. Bucket – bucket tersebut akan bergantian menghitung jumlah volume air yang masuk kedalam mulut corong penakar ini, kemudian volume air tersebut dikonversikan kedalam satuan curah hujan yaitu milimeter (mm). Perhitungan curah hujan dilakukan setelah air melewati bucket yang berjungkit sehingga menggerakkan penghalang untuk melewati sensor *photo-interrupter* yang berfungsi untuk mengaktifkan program perintah *counter*. Hasil dari perhitungan tersebut ditampilkan kedalam microsoft excel dengan menggunakan software *PLX-DAQ*. Nilai curah hujan pada penakar hujan ini sebesar 0.35 mm atau 14 ml/tipping. Pengujian penakar hujan ini dengan metode membuat simulasi hujan dan memanipulasi laju aliran air. Kesalahan pengukuran diperoleh dengan cara dibandingkan dengan volume air buangan penakar hujan yang ditampung pada bak penampungan dan diperoleh nilai kesalahan terbesar 1,37% pada simulasi pertama, 0,64% pada simulasi ke-dua, 3,70% pada simulasi ke-tiga, dan 1,56% pada simulasi ke-empat. Nilai kesalahan ini didapatkan dari nilai volume maksimum air pertipping ± 14 ml, tidak selalu tepat pada 14 ml.

Kata kunci : curah hujan, *tipping bucket*, *photo-interrupter*.

Abstract

This research aimed to design a rain gauge which use tipping bucket method. This rain gauge is used for gain rain fall data . The rain gauge based on basic principle of a lever that made from 2 pieces of buckets these buckets will count the water volume that come to the mouth of the gauge. Furthermore the water volume was converted into rain fall unit of milimeter (mm). The calculations of rainfall was done after water pass from bucket which tilted up so that the hindrance was moved to pass photo-interrupter sensor, which the function is to activate the program of counter command. The result from the calculation was shown in Microsoft excel using PLX-DAQ software. The rain fall value of gauge is 0,35 mm or 14 ml/tipping. This rain gauge examination with simulated rain and manipulate the flow rate of water. Measurement error is obtained by comparison with the volume of waste water a rain gauge which collected on tanks and obtained the error of 1,37% in the first simulation, 0,64% in the second simulation, 3,70% in the third simulation, and 1,56% in the fourth simulation. The error was got from maximum value water per tipping ± 14 ml, not always accurate in 14 ml.

Keyword : rain gauge, *tipping bucket*, *photo-interrupter*.

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini lamanya musim hujan dan musim kemarau di Indonesia sulit untuk diperkirakan dari tahun ketahun dan lama musim hujan selalu lebih lama dibandingkan dengan musim kemarau. BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) mencatat Indonesia memiliki rata – rata curah hujan yang cukup tinggi yaitu 2000 sampai 3000 milimeter per tahunnya. Kondisi ini dikarenakan Indonesia yang memiliki iklim tropis dan sebagian besar wilayahnya adalah lautan. Curah Hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) di atas permukaan horizontal.

Data curah hujan dapat digunakan untuk mendeteksi bencana banjir sehingga dapat dilakukan mitigasi lebih dini. Sebagai contoh, fenomena banjir kiriman dari

Bogor yang membuat Jakarta menjadi banjir seperti yang dilansir oleh tribunews.com pada tanggal 21 januari 2014. Pada kota Bogor perlu diketahui berapa rata – rata curah hujan per bulannya agar dapat diketahui pada bulan apa peluang paling besar akan ada banjir kiriman yang dialami kota Jakarta ketika kota Bogor mengalami hujan lebat. Selain sebagai upaya mitigasi bencana data curah hujan juga dapat digunakan dalam hal pertanian, contohnya perlu diketahui berapa rata – rata jumlah curah hujan suatu daerah untuk mengetahui keadaan cuaca di daerah tersebut sehingga dapat menentukan tanaman apa yang cocok untuk daerah tersebut agar mendapatkan hasil tanam yang maksimal.

Ada beberapa tipe alat pengukur curah hujan, yaitu penakar hujan tipe Observasi, penakar hujan tipe Hellman, dan penakar hujan tipe *Tipping Bucket*. Pada lapangan observasi BMKG kebanyakan menggunakan

penakar hujan tipe Observasi dan penakar hujan tipe Hellman, dimana kedua penakar tersebut masih manual. Pada penakar hujan tipe Observasi prinsip kerjanya yaitu menampung air hujan pada sebuah penampungan air dan terdapat kran yang berfungsi untuk mengeluarkan air hujan yang tertampung pada penampungan air tersebut. Pada setiap jam pengukuran yaitu pukul 07.00 (GMT 00.00) petugas menakar air hujan yang telah tertampung pada gelas ukur yang memiliki satuan mm. Sehingga didapatkan nilai curah hujan pada hari tersebut. Pada penakar hujan tipe hellman prinsip kerjanya seperti penakar hujan tipe observasi tetapi pada penakar hujan ini dapat merekam berapa lama terjadinya hujan pada hari tersebut, penghitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan jam bekker yang di beri pena dan memutar kertas pias.

Penakar hujan tipe *Tipping Bucket* bekerja seperti jungkat jungkit yang bergantian menampung air hujan, dimana setiap jungkitan dihitung berapa volume maksimum dapat menampung air hujan hingga terjungkit. Kemudian berapa kali jungkitan tersebut terjungkit dikali dengan volume maksimum tersebut sehingga didapatkan nilai curah hujan.

Pada penelitian sebelumnya telah merancang penakar hujan otomatis tipe tipping bucket dengan menggunakan ATmega32 menampilkan hasilnya pada LCD dan *Reedswitch* sebagai penghitung berapa kali jungkitan tersebut (Sumardi, 2009).

Penelitian ini akan mengkaji pengembangan metode pengukuran curah hujan tipe tipping bucket dengan sensor *photo – interrupter* berbasis *minimum system arduino* yang hasil pengukurannya dapat ditampilkan melalui *PC*. Kelebihan pada sensor *photo – interrupter*, membutuhkan simpangan lebih sedikit pada bucket untuk mendapatkan keadaan 0 dan 1 dibandingkan dengan *reedswitch*. Kelebihan dari mikrokontroler ATmega 328p sendiri adalah sesuai dengan *minimum system Arduino*. *Arduino* sendiri dapat berkomunikasi dengan *PC* dengan menggunakan *Arduino IDE*, serta dapat menginterfacekan hasil program *arduino* ke *microsoft excel* secara langsung dengan menambahkan *software PLX-DAQ*. Pengoperasiannya yang lebih sederhana dibandingkan dengan *compiler* yang lainnya serta harganya yang lebih terjangkau dibandingkan dengan mikrokontroler lainnya.

TEORI DASAR

Hujan adalah peristiwa jatuhnya air atau es dari atmosfer ke permukaan bumi dan atau laut. Hujan di daerah tropis umumnya dalam bentuk air dan pada cuaca yang ekstrem bisa berbentuk butiran – butiran kecil es, sedangkan di daerah subtropis dan kutub dapat berupa air, es, ataupun salju.

Besarnya curah hujan adalah volume air yang jatuh pada suatu area tertentu. Besarnya curah hujan dapat dimaksudkan untuk satu kali hujan atau untuk masa tertentu seperti perhari, perbulan, permusim atau pertahun (Sitana, 1989). Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan.

Kejadian hujan menunjukkan suatu variabilitas dalam ruang dan waktu. Salah satu konsekuensi dari variabilitas hujan adalah terjadinya fluktuasi curah hujan di setiap wilayah yang dapat menimbulkan kondisi ekstrim berupa kekeringan dan banjir yang terjadi dengan skala yang berbeda dan tergantung pada periode keberulangannya.

Penakar hujan adalah sebuah alat instrumentasi yang digunakan untuk mengukur dan mendapatkan jumlah curah hujan pada satuan waktu tertentu (Soejitno,1978). Terdapat 2 macam penakar hujan yaitu secara manual dan otomatis. Pada penakar hujan manual yang paling banyak digunakan adalah penakar hujan tipe observatorium (*obs*) atau sering disebut ombrometer. Alat pengukur hujan otomatis biasanya menggunakan prinsip kerja dari pelampung, timbangan, dan jungkitan. Salah satu penakar hujan otomatis adalah penakar hujan tipe *Tipping Bucket*.



Gambar 1. Penakar Hujan Tipe Tipping Bucket (Sumber : Dokumen Pribadi)

Pada penakar hujan tipe tipping bucket memiliki luas mulut corong sebesar 400 cm² dan memiliki tinggi 140 cm dari permukaan tanah (Aldrian, 2011). Nilai curah hujan pada penakar hujan tipe ini dapat diketahui dengan menggunakan persamaan

$$CH = \frac{JT \times V}{L} \quad (1)$$

Keterangan :

CH = Curah Hujan (mm)

JT = Jumlah *Tipping*

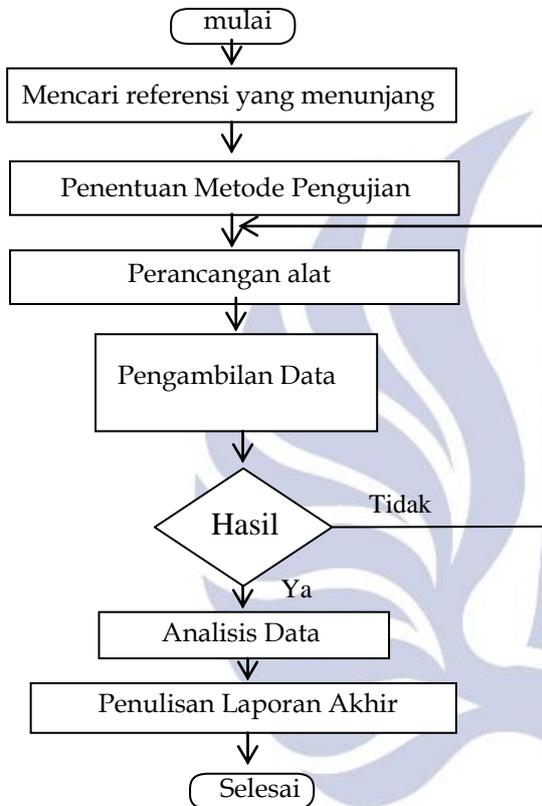
V = Volume per *tipping* (ml)

L = Luas mulut corong (cm²)

Pada alat pengukur curah hujan tipe tipping bucket ini terdapat 2 bagian penting yaitu mulut corong sebagai masuknya air hujan ke penakar tersebut dan tipping bucket untuk menghitung volume air yang masuk pada mulut corong dengan prinsip kerja jungkat – jungkit.

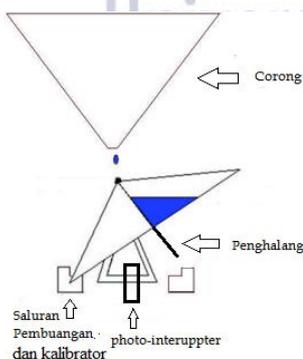
METODE PENELITIAN

Langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian ini disampaikan dalam bentuk diahgram alir (*flowchart*) sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Perancangan penelitian ini diklasifikasikan menjadi 2 tahap penting yaitu Perancangan perangkat keras.

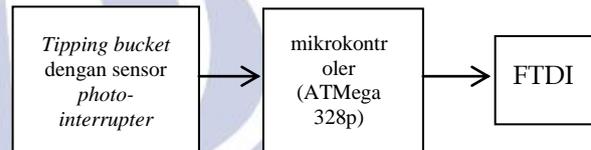


Gambar 4. Sistem mekanik

Alat ukur ini menggunakan prinsip kerja sebuah pengungkit. Pertama membuat mekanik seperti gambar

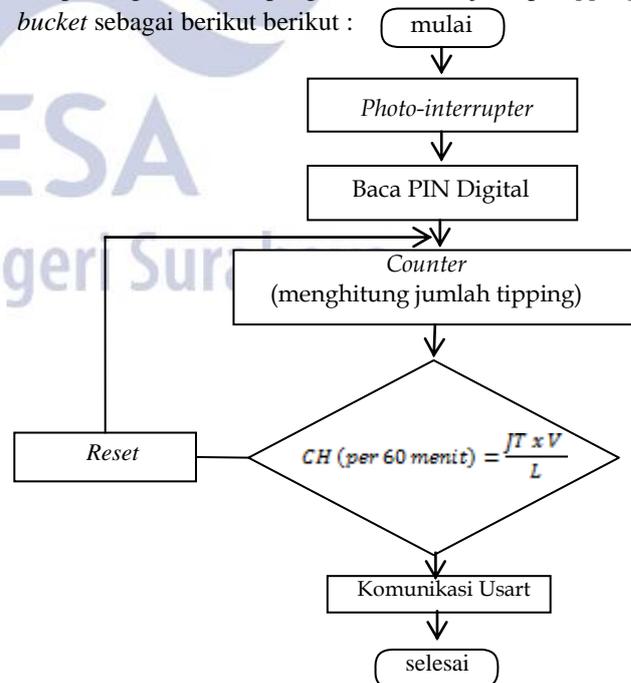
diatas, kemudian mengkalibrasi alat tersebut dengan cara mengetahui berapa volume maksimum air yang dapat ditampung oleh Tipping bucket (TB).

Setelah mengkalibrasi kemudian menambahkan *photo-interrupter* yang dioperasikan sebagai sensor seperti pada gambar diatas. Pada saat keadaan awal dimana posisi *tipping bucket* dalam keadaan tidak seimbang. Pada keadaan ini tidak ada penghalang di *photo-interrupter* (keadaan off), sedangkan pada saat penghalang berada di tengah – tengah *photo-interrupter* keadaan ini diasumsikan sebagai keadaan on. Pada saat *bucket* mulai menampung air dan *bucket* menjungkit maka penghalang akan melewati tengah – tengah dari *photo-interrupter* maka *photo-interrupter* menginstruksikan untuk mengatifkan perintah *counter* pada mikrokontroler, kemudian dimasukkan ke persamaan (1).



Gambar 5. Sistem Elektrik

Diagram blok diatas menunjukkan diimana air hujan yang mengalir melewati *tipping bucket* akan dihitung jumlahnya dengan menggunakan sensor *photo-interrupter*. Perhitungan tersebut didapat dari persamaan (1). Proses perhitungan tersebut diproses di dalam mikrokontroler pada pin digital, kemudian ditampilkan pada PC per jamnya dengan software *PLX-DAQ* Diagram alir pemrograman alat pengukur curah hujan tipe *tipping bucket* sebagai berikut berikut :



Gambar 6. Diagram Alir Pemrograman

Pengujian penelitian ini dengan membuat metode simulasi hujan. Teknik pengambilan data menggunakan *shower* yang diletakkan di atas penakar hujan tersebut dan diarahkan langsung ke arah mulut corong. Variabel control dalam penelitian ini adalah jarak antara *shower* dengan mulut corong, *shower*, dan lamanya waktu *shower* tersebut dinyalakan yaitu selama ± 20 menit. Variabel manipulasi adalah laju aliran air yang keluar dari *shower* tersebut yang dimanipulasi sebanyak 4 kali dengan 5 kali pengulangan. Variabel respon adalah besarnya volume air keseluruhan dan kemudian dikonversikan kedalam nilai curah hujan dengan cara perhitungan seperti pada persamaan 2.1. Menampung air buangan dari penakar hujan tersebut pada bak penampungan guna membandingkan volume air keseluruhan dari data yang didapat alat ukur tersebut dengan pengukuran menggunakan gelas ukur bersekala.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pengujian penakar hujan tipe *tipping bucket* ini menggunakan metode simulasi hujan. Simulasi hujan ini adalah membuat efek hujan dengan durasi selama ± 20 menit dengan menggunakan *shower* yang diletakkan di atas penakar hujan tipe *tipping bucket*. Pada pengujian menggunakan simulasi hujan ini memanipulasi laju aliran air yang keluar dari *shower* pada beberapa keadaan. Hal ini dikarenakan laju aliran air yang keluar dari *shower* berpengaruh terhadap lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai volume maksimum air agar *bucket* terjungkit.

Hasil Pengujian Penakar Hujan Tipe Tipping Bucket pada Simulasi Hujan 1.

Pada simulasi hujan 1 ini *tipping bucket* berjungkit rata – rata sebanyak 2 kali tiap menitnya.

Tabel 1. Hasil pengujian pada simulasi hujan 1

no.	Tipping bucket		Gelas Ukur ml	error (%)
	mm	ml		
1	12.95	518	524	1.15%
2	13.65	546	553	1.27%
3	13.30	532	538	1.12%
4	15.05	602	609	1.15%
5	14.35	574	582	1.37%
Jumlah	69.30	2772	2806	

Dari tabel diatas didapatkan hasil pengukuran curah hujan hubungan antara *tipping bucket* dengan gelas ukur dan dapat dilihat bahwa kesalahan paling besar adalah 0.64% (berwarna merah). Didapatkan selisih rata – rata 7 ml atau sebesar 0.175 mm dari pengukuran kedua alat tersebut.

Hasil Pengujian Penakar Hujan Tipe Tipping Bucket pada Simulasi Hujan 2.

Pada simulasi hujan 2 ini *tipping bucket* berjungkit rata – rata sebanyak 7 kali tiap menitnya.

Tabel 2. hasil pengujian pada simulasi hujan 2

No.	Tipping Bucket		Gelas Ukur ml	Error %
	mm	MI		
1	48.30	1932	1944	0.62%
2	48.65	1946	1957	0.56%
3	50.75	2030	2043	0.64%
4	47.95	1918	1929	0.57%
5	49.70	1988	2000	0.60%
Jumlah	245.35	9814	9873	

Dari tabel diatas didapatkan hasil pengukuran curah hujan hubungan antara *tipping bucket* dengan gelas ukur dan dapat dilihat bahwa kesalahan paling besar adalah 0.64% (berwarna merah). Didapatkan selisih rata – rata 12 ml atau sebesar 0.30 mm dari pengukuran kedua alat tersebut.

Hasil Pengujian Penakar Hujan Tipe Tipping Bucket pada Simulasi Hujan 3.

Pada simulasi hujan 3 ini *tipping bucket* berjungkit rata – rata sebanyak 1 kali tiap menitnya.

Tabel 3. hasil pengujian pada simulasi hujan 3

no.	Tipping bucket		Gelas Ukur ml	error (%)
	mm	ml		
1	6.65	266	257	3.50%
2	6.30	252	243	3.70%
3	7.00	280	271	3.32%
4	7.00	280	271	3.32%
5	7.00	280	271	3.32%
Jumlah	33.95	1358	1313	

Dari tabel diatas didapatkan hasil pengukuran curah hujan hubungan antara *tipping bucket* dengan gelas ukur dan dapat dilihat bahwa kesalahan paling besar adalah 3.70% (warna merah). Didapatkan selisih rata – rata 9 ml atau sebesar 0.225 mm dari pengukuran kedua alat tersebut.

Hasil Pengujian Penakar Hujan Tipe Tipping Bucket pada Simulasi Hujan 4.

Pada simulasi hujan 4 ini *tipping bucket* berjungkit rata – rata sebanyak 4 kali tiap menitnya.

Tabel 4. hasil pengujian pada simulasi hujan 4

no.	Tipping bucket		Gelas Ukur ml	error (%)
	mm	ml		
1	24.50	980	995	1.51%
2	25.20	1008	1024	1.56%

3	25.90	1036	1051	1.43%
4	26.25	1050	1065	1.41%
5	25.20	1008	1024	1.56%
Jumlah	127.05	5082	5159	

Dari tabel diatas didapatkan hasil pengukuran curah hujan hubungan antara *tipping bucket* dengan gelas ukur dan dapat dilihat bahwa kesalahan paling besar adalah 1.56% (berwarna merah). Didapatkan selisih rata – rata 15 ml atau sebesar 0.375 mm dari pengukuran kedua alat tersebut.

Pembahasan

Penakar hujan tipe *tipping bucket* yang dibuat pada penelitian ini memiliki nilai atau resolusi sebesar 0.35mm atau setara dengan 14 ml untuk setiap satu kali *tipping*/jungkitan. Pada hasil pengujian penakar hujan tipe *tipping bucket* ini dengan menggunakan simulasi hujan sebanyak 4 keadaan dengan 5 kali pengulangan untuk setiap kali pengulangannya didapatkan selisih dari hasil pengukuran antara menggunakan *tipping bucket* dan gelas ukur. Apabila hasil dari pengukuran dengan menggunakan gelas ukur dibagikan dengan jumlah *tipping* keseluruhan, maka rata – rata satu kali *tipping*/jungkitan yang didapatkan untuk setiap keadaan tidak tepat bernilai 14 ml seperti pada pengukuran menggunakan *tipping bucket*. Pada keadaan pertama bernilai 14.17 ml, pada keadaan kedua bernilai 14.08ml, pada keadaan ketiga bernilai 13.53 ml, pada keadaan keempat bernilai 14.21 ml. Selisih dari nilai pengukuran dengan menggunakan *tipping bucket* dan gelas ukur dikarenakan dalam penelitian ini menggunakan alat ukur yang berskala sebesar satu milliliter. Dalam pengujian ini satu kali *tipping*/jungkitan tidak selalu tepat bernilai 14 ml.

Simulasi hujan dilakukan sebanyak 4 kali keadaan dikarenakan kesulitan dalam mengondisikan laju aliran air untuk simulasi hujan agar air yang mengalir menuju *bucket* sesuai dengan keadaan ketika pada saat hujan yaitu hanya menetes, bukan mengalir dengan deras. Lama durasi yang dilakukan dalam pembuatan simulasi hujan ini adalah ± 20 menit untuk setiap keadaannya. Apabila lebih dari 20 menit ditakutkan laju aliran air tidak akan konstan karena durasi waktu yang terlalu lama. Hal ini disebabkan pada pembuatan simulasi hujan ini menggunakan air kran yang bersumber dari PDAM yang laju alirannya tidak selalu sama.

Hasil pengujian penakar hujan tipe *tipping bucket* pada penelitian ini memiliki nilai satu kali *tipping*/jungkitan sebesar 14 ml atau bila dikonversikan kedalam millimeter sebesar 0.35mm, ini didapatkan nilai resolusi yang lebih bagus dari penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya memiliki resolusi sebesar 20 ml atau 0.5 mm (Sumardi,2009). Pada penelitian sebelumnya menggunakan sensor *reedswitch* untuk membaca keadaan *on* dan *off*. Sensor *reedswitch* membutuhkan simpangan yang lebih lebar agar dapat

membaca 2 keadaan sehingga membutuhkan volume air yang lebih banyak untuk menjungkitkan *bucket*. Pada penelitian ini penakar hujan tipe *tipping bucket* menggunakan sensor *photo-interrupter*, dimana sensor ini membutuhkan simpangan yang lebih kecil untuk membaca 2 keadaan tersebut, sehingga diperlukan volume yang lebih sedikit dibandingkan untuk menjungkitkan *bucket*.

PENUTUP

Simpulan

Pada penelitian ini telah dibuat alat ukur pengukuran curah hujan dengan menggunakan penakar hujan tipe *tipping bucket*. Prinsip kerja dari penakar hujan tipe *tipping bucket* ini menggunakan prinsip kerja dari jungkat – jungkit. Pada penakar hujan tipe *tipping bucket* ini terdapat dua buah *bucket* yang dibentuk seperti jungkat jungkit. *Bucket* ini berfungsi untuk menampung dan menghitung jumlah volume air secara bergantian yang mengalir melewati kedua *bucket* tersebut. Penghitungan jumlah volume air yang melewati *bucket* tersebut dengan cara menghitung jumlah jungkitan/*tipping* kedua *bucket* tersebut dengan memanfaatkan sensor *photo-interrupter* untuk mengaktifkan perintah *counter* pada mikrokontroler dikalikan dengan volume maksimum air yang membuat *bucket* tersebut berjungkit.

Pengujian penakar hujan tipe *tipping bucket* ini dengan menggunakan metode simulasi hujan, sehingga didapatkan nilai volume air untuk satu kali *tipping* sebesar 14 ml atau 0.35 mm. didapatkan error terbesar 1,37% pada simulasi pertama, 0,64% pada simulasi kedua, 3,70% pada simulasi ke-tiga, dan 1,56% pada simulasi ke-empat.

Saran

Berdasarkan hasil pengujian, penakar hujan tipe *tipping bucket* ini memiliki nilai sebesar 0.35 mm atau 14 ml untuk satu kali *tipping*. Diperlukan mengatur ukuran *bucket* terlebih dahulu sebelum melakukan peneraan sehingga bisa diperoleh nilai yang genap, misalnya 0,1 mm (4 ml) per *tipping*, 0,2 mm (8ml) per *tipping*, atau 0,25 mm (10 ml) per *tipping*. Diperlukan perbaikan design yang lebih rapi untuk mulut corongnya sehingga sesuai dengan luas yang telah ditentukan.

Pada data nilai curah hujan yang di dapat sebaiknya dapat disimpan dengan memori yang terintegrasi dengan mikrokontroler agar data menyimpan secara otomatis tanpa menggunakan *personal computer* (PC).

Pada tampilan data (*interface*) dan alat sebaiknya dihubungkan dengan metode tanpa kabel (*wireless*), hal ini dikarenakan peletakkan alat penakar hujan yang harus diletakkan pada sebuah tanah lapang tanpa adanya penghalang disekitarnya.

Pengembangan selanjutnya untuk penelitian ini sebaiknya dilakukan pengukuran curah hujan secara nyata pada saat hujan. Pada pengukuran tersebut perlu dipertimbangkan waktu dan lokasi penelitian, dikarenakan pengukuran geofisika selalu mempertimbangkan skala waktu dan ruang. Pada pengukuran curah hujan tersebut dilakukan dengan waktu yang cukup lama sekitar selama satu bulan, selain itu juga dilakukan pada beberapa titik sampel pada satu wilayah agar dapat diketahui nilai curah hujan pada wilayah tersebut. Dalam praktek dilapangan, intensitas curah hujan lokal dinyatakan dalam satuan mm per waktu, hal ini dikarenakan curah hujan yang terjadi pada setiap waktu tidak selalu sama, oleh sebab itu perlu juga dicatat waktu terjadinya hujan tersebut. Selain waktu, curah hujan juga merupakan variabilitas ruang dikarenakan nilai curah hujan yang berbeda – beda disetiap titik sampel pada satu wilayah tersebut yang di jadikan sampel, oleh sebab itu pada saat melakukan pengukuran curah hujan perlu dilaporkan lokasi titik pengukuran curah hujan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E, Budiman, dan Mimin Karmini. 2011. *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia*. Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara Kedepuitan Bidang Klimatologi, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Arsyad, Sitanala. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: Penerbit IPB Press.
- Evita, M., Mahfudz, H., Suprijadi, Djamel, M., & Khairurrijal. (2010). *Alat Ukur Curah Hujan Tipping bucket Sederhana dan Murah Berbasis Mikrokontroler*. jurnal ITB, Vol 2 (2).
- Linsley, R.K., M.A. Kohler, and J.L.H. Paulhus, 1982, *Hydrology for Engineers*, McGraw Hill, 508 pp.
- Manullang, V. S., & Tamba, T. (n.d.). Modifikasi Penakar Hujan Otomatis Tipe Tipping Bucket dengan Hall Effect Sensor ATS276. *Fisika Instrumentasi FMIPA Universitas Sumatra Utara*.
- Saputra, Dwi Saputra. Dkk. 2013. Perancangan dan Pembuatan Sensor curah Hujan Tipe Tipping Bucket dengan Tampilan LCD. *Jurnal Universitas Brawijaya*.
- Sujitno, ah.M.G.1978. *Aneka Meteorologi dan Geofisika*. Akademi Meteorologi dan Geofisika Jakarta. Seri 2.
- Sumardi. (2009). Penakar Curah Hujan Automatis menggunakan Mikrokontroler ATMega 32. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*.
www.electroschematics.com (diakses tanggal 1 Mei 2015).
www.instructables.com (diakses tanggal 1 Mei 2015).
www.arduino.cc (diakses tanggal 24 Desember 2014).