

Alat Ukur Curah Hujan Tipping-Bucket Sederhana dan Murah Berbasis Mikrokontroler

M. Evita¹, H. Mahfudz², Supriyadi³, M. Djamal³, dan Khairurrija¹.*

¹KK Fisika Material Elektronik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

²KK Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

³KK Fisika Teori Energi Tinggi dan Instrumentasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10, Bandung 40132

**krijal@fi.itb.ac.id*

Received Date : 5 November 2010

Acceptance Date : 29 November 2010

Abstrak

Telah dirancang dan dibangun alat pengukur curah hujan tipe tipping-bucket (TB) berbasis mikrokontroler AT89S8252. Alat ini menghasilkan tetesan 0,21 mm untuk daerah tabung kecil terpancang sebagai penerima tetesan (tipping-bucket/TB) dari kerucut penampung air hujan seluas 2837,54 mm². Untuk mencacah TB-nya, sensor tipe reed switch digunakan dan dibaca oleh data logger berbasis mikrokontroler AT89S8252. Data logger tersebut dilengkapi sebuah real time clock dan komunikasi serial agar dapat mengirimkan data ke komputer. Curah hujan maksimum yang bisa diukur adalah 914,4 mm/jam.

Kata kunci: Curah hujan, sensor reed switch, mikrokontroler AT89S8252.

Abstract

A Tipping-bucket (TB) rain gauge using AT89S8252 microcontroller has been designed and built. This device produces 0,21 mm drops of water for the small tube receiver (tipping bucket/TB) from the rain water cone area of 2837,54 mm². Reed switch sensor is used for sampling TB and the sampling data will be read by data logger system using AT89S8252 microcontroller. Data logger system is provided with real time clock and communication serial for sending the data to the computer. Maximum rainfall that can be measured is 914.4 mm/hr.

Keywords: Rainfall, reed switch sensor, microcontroller AT89S8252.

1 Pendahuluan

Berbagai aplikasi klimatologi dan hidrologi di bidang pertanian, perkebunan serta industri pertanian sangat bergantung pada hujan. Data curah hujan merupakan input utama untuk model simulasi curah hujan-aliran permukaan (*rainfall-runoff*) untuk aplikasi hidrologi perkotaan. Desain dan analisis sistem drainase perkotaan sangat dipengaruhi oleh ketidakpastian data intensitas curah hujan dan durasi yang tercatat [1][2]. Meskipun metode penginderaan jauh digunakan dalam perkiraan curah hujan, pengukuran dari pengukur curah hujan masih digunakan untuk tujuan operasional dan kalibrasi. Pengamatan pengukur curah hujan juga dibutuhkan untuk algoritma perkiraan curah hujan radar [3].

Beberapa jenis pengukur curah hujan yang telah dikembangkan diantaranya jenis *weighing*, kapasitansi, *tipping-bucket* (TB), optik, dan lain-lain [4][5]. Namun, jenis pengukur curah hujan TB lebih sering digunakan untuk pengukuran curah hujan karena sederhana dan

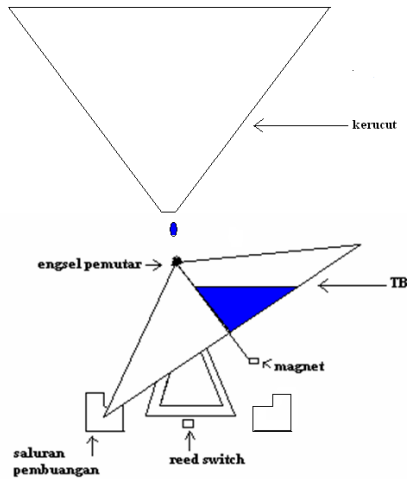
tahan lama, dapat dipasang di daerah terpencil, dapat dihubungkan dengan berbagai alat pemantau dan pencatat (data), serta harganya relatif murah. Lembaga seperti Badan Meteorologi dan Geofisika Amerika, Survey Geologi Amerika serta Dinas Kehutanan Amerika dan lembaga-lembaga lain di dunia menggunakan pengukur curah hujan TB untuk pengukuran curah hujan berbasis darat [6][7]. Sinkronisasi data pada pengukur curah hujan jenis TB untuk curah hujan dan kecepatan aliran permukaan digunakan untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi tanah dalam praktek manajemen agronomi [8].

Meskipun telah terdapat banyak pengukur curah hujan jenis TB di Indonesia, tetapi semuanya alat-alat impor. Untuk tujuan penyediaan pengukur curah hujan yang sederhana dan murah, kami telah mendesain dan mengembangkan jenis pengukur curah hujan ini untuk mendukung program pengurangan kebergantungan terhadap barang impor. Paper ini menjelaskan desain dan pengembangan pengukur curah hujan jenis TB.

2 Rancang Bangun

Alat ukur curah hujan tipe tipping-bucket (TB) terdiri dari tiga bagian. Bagian pertama adalah bagian penerima air hujan yang terdiri dari bagian penampung air hujan yang berbentuk kerucut serta bagian penerima tetesan dari penampung air hujan yang berbentuk tabung kecil terpancung atau lebih dikenal dengan istilah tipping bucket (TB). Bagian kedua adalah sensor yaitu reed switch, sedangkan bagian terakhir adalah bagian pengolahan data yang terdiri dari mikrokontroler dan PC. Bagian penting dari pengukur curah hujan adalah bagian TB yang akan menghasilkan data yang kemudian diolah dan disajikan sebagai data curah hujan. Bagian TB ini berbentuk dua buah tabung kecil terpancung seperti terlihat pada Gambar 1. Ketika hujan turun, tetes air hujan dikumpulkan di bagian kerucut kemudian mengalir ke bagian TB yang terletak di bawah kerucut. Ketika salah satu dari TB yang pada keadaan awal berada di atas ini dipenuhi oleh air hujan, bagian ini menjadi tidak seimbang dan turun ke bawah, mengosongkan air dalam TB dan membuangnya ke saluran pembuangan, kemudian TB yang lain akan naik dan menerima tetesan seperti TB sebelumnya. TB ini dibuat dengan toleransi yang ketat untuk menghasilkan data curah hujan yang tepat. Selain itu, akurasi dari pengukur curah hujan tipe TB akan berubah jika berada di permukaan penempatan yang tidak rata, sehingga dibutuhkan data profil permukaan tempat pengukur curah hujan ini ditempatkan (water pass bisa digunakan untuk kebutuhan ini). Permukaan juga harus bebas dari getaran. Pada akhirnya, setiap jatuhnya TB mengaktifkan reed switch magnetik yang direkam oleh data logger.

Data logger dirancang menggunakan mikrokontroler AT89S8252. Mikrokontroler tersebut merupakan chip yang dapat diprogram untuk menyimpan serta mengolah data sesuai keinginan kita [9]. Keadaan *reed switch*, yaitu sensor yang harganya relatif murah dan keluarannya sudah dalam bentuk biner (digital), adalah salah satu data yang dibaca dan disimpan oleh mikrokontroler sehingga tidak perlu lagi menggunakan *analog to digital converter* (ADC).



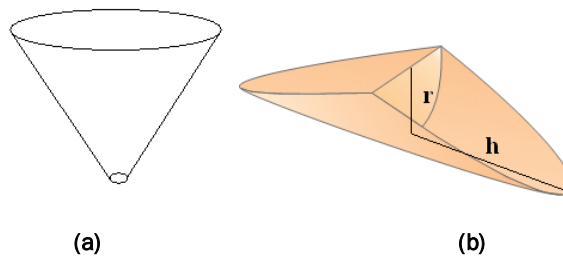
Gambar 1 Desain pengukur curah hujan tipe TB

Data logger tersebut terdiri dari bagian perangkat keras serta bagian perangkat lunak. Data yang masuk ke data logger dianggap sebagai interupsi bagi mikrokontroler (perangkat keras). Dengan program (perangkat lunak) yang telah dimasukkan ke dalam mikrokontroler tersebut data kemudian diolah. Salah satu bagian mikrokontroler juga di hubungkan dengan saklar reset, untuk mereset rangkaian. Saklar reset ini berguna untuk mereset mikrokontroler saat pengambilan data.

Fitur lain dari data logger yang dirancang adalah real time clock untuk mencatat waktu, EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) yang berfungsi menyimpan data meski tidak ada catu tegangan, dan adanya komunikasi serial. Dengan kemampuan komunikasi serial ini, data dari data logger dapat dikirim ke komputer untuk tujuan pengolahan lebih lanjut sehingga hasil akhirnya menjadi curah hujan.

2.1 Kerucut dan Tipping Bucket

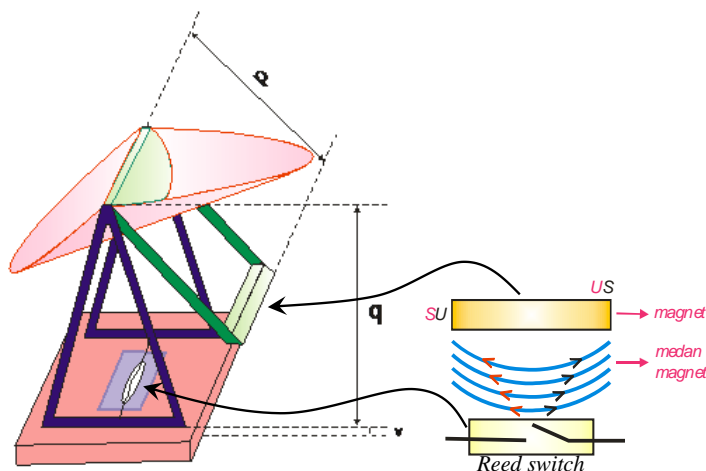
Bagian kerucut yang telah dibuat bisa dilihat pada Gambar 2 (a). Kerucut ini memiliki jari-jari 79,22 mm, jari-jari lubang kecil di puncak kerucut 2.15 mm, serta ketinggian dari alas sampai lubang kecil ini adalah 156,4 mm. TB digambarkan pada Gambar 2 (b) yang terdiri dari dua tabung kecil terpancung yang identik dengan ketinggian tabung $h = 58,98$ mm serta jari-jari $r = 24,42$ mm.



Gambar 2 (a) Kerucut dan (b) TB

2.2 Sensor Reed Switch

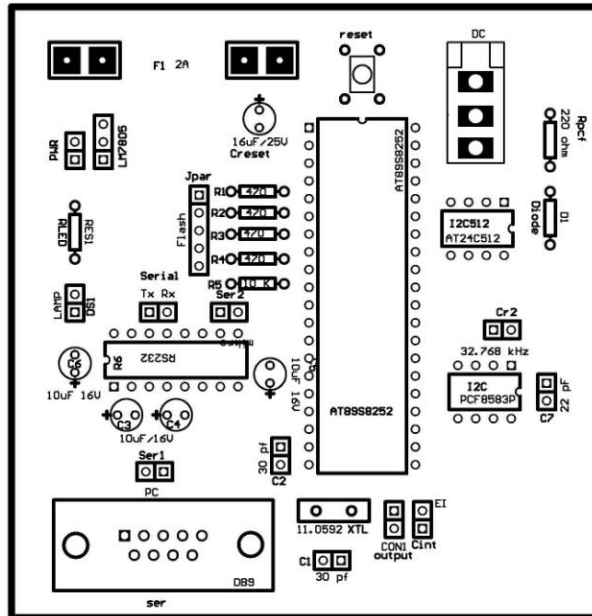
Telah dijelaskan sebelumnya bahwa ketika salah satu TB telah menerima cukup air, bagian ini kemudian mengosongkan diri dengan berputar ke bawah sepanjang porosnya dan menuangkan air ke bagian dasar. Hal ini menyebabkan TB yang lain naik ke posisi siap menerima tetesan dari penampung air hujan dan sikluspun berulang. Lubang pada dasar TB merupakan saluran pembuangan air dari bagian TB. Setiap kali TB mengosongkan isinya, TB ini menggerakkan magnet yang melalui reed switch magnetik dan menyebabkan reed switch menutup. Pemasangan reed switch yang tepat seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Posisi reed switch terhadap medan magnet

2.3 Data Logger

Tata-letak komponen elektronik untuk data logger yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4. Data yang berupa pulsa (dari reed switch) akan masuk ke mikrokontroler melalui pin INT1. Data yang masuk dianggap sebagai interupsi bagi mikrokontroler. Dengan program yang telah dimasukkan ke dalam mikrokontroler data kemudian diolah. Pada bagian mikrokontroler, data hanya diterima, kemudian dikirim ke komputer untuk pengolahan lebih lanjut menjadi curah hujan. Selain menampilkan data, program juga menghitung waktu dengan menggunakan real time clock.



Gambar 4 Tata-letak komponen *data logger*

2.4 Pengolahan Data di Komputer

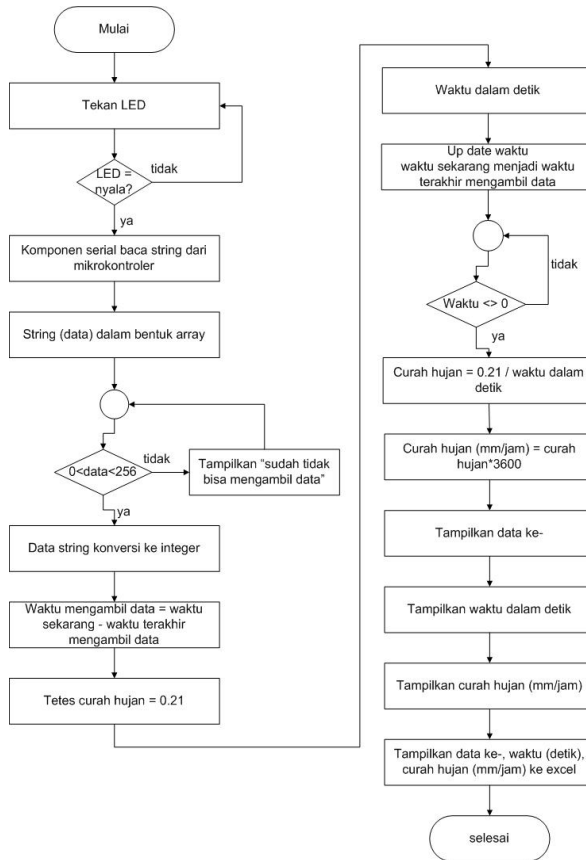
Setelah melalui bagian *data logger*, data kemudian dikirim ke komputer dan diolah dengan menggunakan Delphi. Diagram alir dari program pengolahan data tersebut diberikan dalam Gambar 5.

Program ini memberikan indikasi komunikasi serial terjadi dengan lampu LED. Jika ini adalah saklar LED ditekan (LED menyala), maka komunikasi serial terjadi, artinya data dari *data logger* diterima oleh komputer, sedangkan jika saklar ini tidak ditekan maka LED tidak menyala dan tak ada komunikasi serial antara mikrokontroler dengan komputer, sehingga tidak ada data yang diterima oleh komputer.

Kemudian, program memerintahkan komputer untuk membaca data dari *data logger* dalam bentuk string. Data yang masuk berupa angka dari 1 sampai dengan 255, oleh karena itu program selanjutnya dijalankan hanya jika data berada pada range angka ini. Jika data lebih dari 255 akan ditampilkan kalimat “sudah tidak bisa mengambil data.” Data kemudian dikonversi ke bentuk integer untuk perhitungan lebih lanjut. Data integer ini dalam bentuk array, karena data yang diterima oleh komputer tidak hanya satu. Setiap data yang masuk ditampilkan ke bagian penampil pada Delphi

Selain menampilkan data, program juga menghitung waktu. Waktu yang ditampilkan pada program ada dua jenis: (1) waktu yang sama dengan waktu pada komputer dan (2) waktu mengambil data. Waktu yang dibutuhkan untuk mengambil data t_d dihitung dengan rumusan

$$t_d = t_s - t_a, \tag{1}$$



Gambar 5 Diagram alir pengolahan data di komputer

Dengan t_s dan t_a adalah waktu sekarang dan waktu terakhir mengambil data, secara berurut.

Waktu mengambil data didefinisikan sebagai waktu saat mikrokontroler menerima interupsi berupa pulsa dari sensor (*reed switch*). Saat ini, bagian TB telah mengumpulkan air hujan dalam volume tertentu yang mengakibatkan bagian TB yang sedang menerima air hujan dari kerucut yang tadinya berada di atas, kemudian berputar ke bawah sepanjang porosnya, sehingga magnet yang terpasang bersama bagian TB ini bergerak dan mengakibatkan sensor *reed switch* berada pada keadaan on. Pada keadaan ini, pulsa dihasilkan, kemudian dikirim ke mikrokontroler dan dianggap sebagai interupsi oleh mikrokontroler. Curah hujan dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$curah\ hujan = curah\ hujan\ 1 / waktu\ (sekon)\ (2)$$

Di sini,

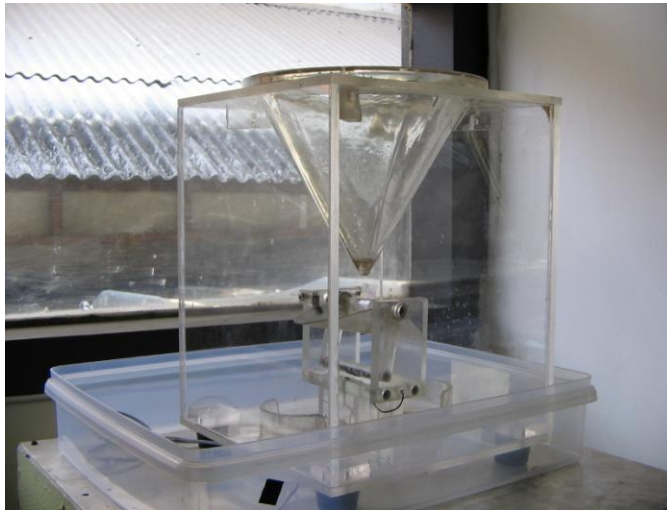
$$curah\ hujan\ 1 = volume / luaspermukaan = 0,21\ mm\ (3)$$

Nilai 0,21 dalam persamaan (3) untuk curah hujan tersebut merupakan curah hujan dengan volume tertentu pada TB saat data terbentuk. Volume ini disebut juga sebagai

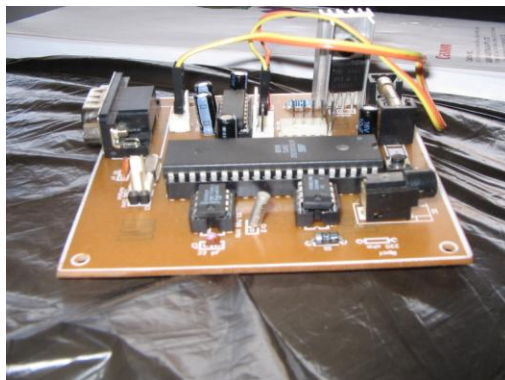
volume pada keadaan maksimum, yaitu keadaan saat bagian TB berada pada sudut rotasi maksimum dari keadaan setimbang. Nilai volume maksimum tersebut adalah $603,41 \text{ mm}^3$ dan luas permukaan untuk volume tersebut adalah $2837,54 \text{ mm}^2$. Sesuai dengan definisi yang diberikan dalam persamaan (3), perbandingan volume dan luas permukaan tersebut memberikan nilai $0,21 \text{ mm}$.

Dalam perhitungan curah hujan, waktu dalam bentuk detik. Untuk penghitungan curah hujan selanjutnya, waktu sekarang diubah menjadi waktu terakhir mengambil data untuk data selanjutnya, sehingga ketika ada data selanjutnya, perhitungan waktu mengambil data mengikuti persamaan (1) di atas.

Prototipe alat ukur curah hujan beserta *data loggernya* bisa dilihat pada Gambar 6.



(a)



(b)

Gambar 6 (a) Prototipe alat ukur curah hujan tipe TB dan (b) *data loggernya*

3 Hasil Uji dan Pembahasan

Prototipe ini telah diuji untuk mengambil data curah hujan. Data yang terekam diberikan dalam Gambar 7. Terlihat bahwa curah hujan maksimum adalah sekitar 1000 mm/jam dalam waktu 1 detik waktu pengambilan data.

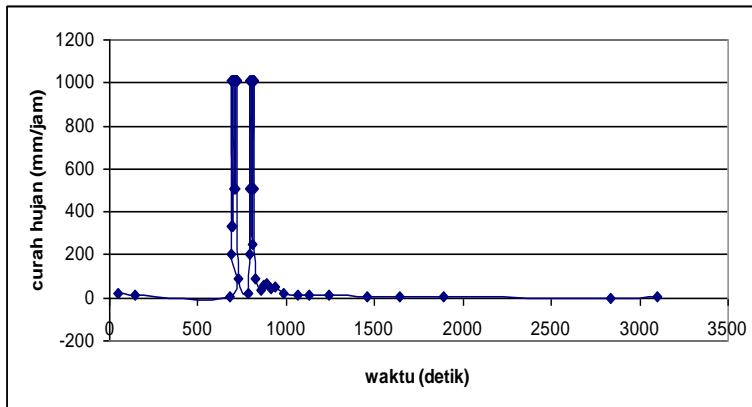
Selama pengambilan data curah hujan, kerucut penampung air hujan tidak selalu penuh. Patut diduga bahwa waktu yang diperlukan dalam pengambilan data curah hujan sangat mempengaruhi penghitungan curah hujan karena kecepatan air hujan keluar dari kerucut.

Kecepatan air hujan yang keluar dari kerucut diberikan oleh

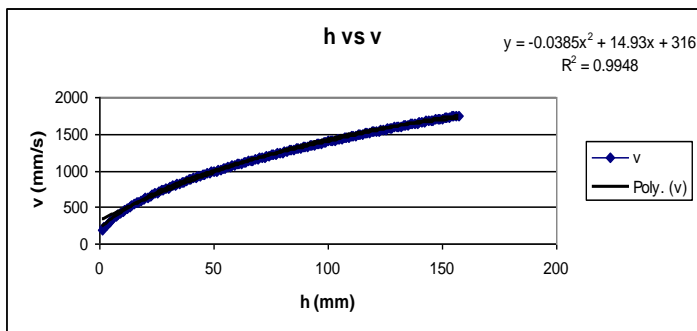
$$v(h) = \frac{2gh}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{c} + 1\right)^{-4}}} \tag{4}$$

Dengan v adalah kecepatan air yang keluar dari kerucut yang bergantung pada ketinggian h air dalam kerucut, g adalah konstanta gravitasi is = 9800 mm/s², c adalah jarak dari puncak kerucut ke lubang kecil tempat air hujan keluar = 4,5 mm, dan h adalah ketinggian air dalam kerucut dengan h maksimum adalah 157,09 mm. Kecepatan untuk 0 < h < 157,09 mm diperlihatkan pada Gambar 8. Ditunjukkan bahwa kecepatan air hujan keluar dari kerucut menurun dengan ketinggian air hujan di kerucut yang diberikan oleh persamaan (5).

$$v = -0.0385h^2 + 14.93h + 316 \tag{5}$$



Gambar 7 Data curah yang telah diambil dengan TB dan diolah di komputer



Gambar 8 Kecepatan air jatuh dari kerucut sebagai fungsi dari ketinggian air di kerucut

Waktu yang diperlukan dalam pengambilan data, dengan demikian jua penghitungan curah hujan, harus dikoreksi dengan ketinggian air di kerucut. Untuk ini, sensor ketinggian air diperlukan. Atau ada cara lain, yaitu dengan tetap memastikan bahwa ketinggian tidak boleh lebih rendah dari suatu nilai. Ini berarti bahwa lubang bagian bawah kerucut harus dibuat cukup kecil untuk menjaga ketinggian tersebut.

4 Kesimpulan

Alat pengukur curah hujan tipe TB telah dirancang dan dibuat dan menghasilkan tetesan 0,21 mm untuk daerah tabung kecil terpancung sebagai penerima tetesan (*tipping-bucket*/TB) dari kerucut penampung air hujan seluas 2837,54 mm². Curah hujan maksimum yang bisa diukur adalah 914,4 mm/jam. Koreksi seharusnya dilakukan bila kerucut penampung air hujan tidak penuh.

5 Daftar Pustaka

- [1] W. Schilling, "Rainfall data for urban hydrology: what do we need?" *Atmospheric Res.*, 27, 5-21 (1991).
- [2] H.-J. Zhu dan W. Schilling, "Simulation errors due to insufficient temporal rainfall resolution—annual combined sewer overflow." *Atmospheric Res.*, 42, 19-32 (1996).
- [3] E. N. Anagnostou dan W. F. Krajewski "Real-time radar rainfall estimation Part I: Algorithm formulation." *J. Atmospheric and Oceanic Technol.*, 16, 189-197 (1999).
- [4] F. V. Brock dan S. J. Richardson, "Meteorological Measurement Systems". New York: Oxford Univ. Press, 2001.
- [5] T. J. Mansheim, A. Kruger, J. Niemeier, dan A. J. B. Brysiewicz, "A Robust Microwave Rain Gauge", *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 59, 2204-2210 (2010).
- [6] E. Habib, W. F. Krajewski, dan A. Kruger, "Sampling errors of tipping bucket rain gauge measurements," *ASCE J. Hydrol. Eng.*, 6, 159-166, (2001).
- [7] M. D. Humphery, J. D. Istok, Y. Lee, J. A. Hevesi, dan A. L. Flint, "A new method for automated dynamic calibration of tipping-bucket rain gauge," *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 14, 1513-1519, (1997).
- [8] B. Yu, C. A. A. Ciesiolka, C. W. Rose, dan K. J. Coughlan, "A note on sampling errors in the rainfall and runoff data collected using tipping bucket technology." *Trans. ASAE*, 40(5), 1305-1309 (1997).
- [9] Atmel, "8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash AT89S8252 Data Sheet", 2001.