

# Implementasi Sistem Pemantauan Curah Hujan Berbasis *IoT* untuk Analisis HSS pada Sub Sistem Medokan Ayu Kota Surabaya

Aditya Ramadhana Ragasatti, Ismail Sa'ud, dan Muhammad Hafiih Imaaduddin  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: ismailsaud.its@gmail.com

**Abstrak**—Hidrograf satuan adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara curah hujan dan limpasan untuk daerah tangkapan air tertentu. Ada beberapa metode untuk membuat grafik ini, tetapi semua harus dikalibrasi dengan data observasi dan mempertimbangkan karakteristik daerah tangkapan air. Pengukuran curah hujan yang akurat sangat penting untuk pemodelan hidrologi dan biasanya dilakukan dengan ombrometer. Namun, alat ini memiliki kelemahan yaitu membutuhkan pengamat dan hanya merekam nilai curah hujan per hari. Untuk mengatasi keterbatasan ini, diperlukan sistem yang mengukur curah hujan dengan resolusi waktu yang tinggi. Tujuan dari proyek akhir ini adalah untuk membangun sistem pemantauan curah hujan menggunakan teknologi *IoT* dan menerapkannya di wilayah tertentu di Surabaya. Sistem akan menggunakan sensor untuk secara otomatis mengukur curah hujan dan mengirimkan data ke *cloud* kemudian ditampilkan pada aplikasi. Sistem ini bertujuan untuk mempermudah pencatatan data dan mendapatkan informasi curah hujan secara *real-time* di berbagai lokasi serta memberikan contoh penggunaan model hidrologi untuk penelitian dan aplikasi operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat pemantau curah hujan memiliki kinerja yang sangat baik jika dibandingkan pos hujan Wonorejo dengan nilai  $NSE = 0,831$ . Kemudian, data curah hujan yang telah dicatat, digunakan untuk menganalisis debit limpasan dengan metode hidrograf satuan sintetis SCS dan Nakayasu. Dengan metode HSS SCS, untuk setiap 1 mm hujan efektif dari  $CN=72,79$  akan menghasilkan debit limpasan sebesar  $0,890 \text{ m}^3/\text{dt}$  dengan waktu puncak 1,327 jam, sedangkan metode HSS Nakayasu menghasilkan debit limpasan sebesar  $1,078 \text{ m}^3/\text{dt}$  dengan waktu puncak 0,823 jam. Selama periode pengamatan dari tanggal 17 Maret-20 April 2023 didapatkan debit limpasan terbesar pada tanggal 8 April 2023 pukul 17:28 sebesar  $16,543 \text{ m}^3/\text{dt}$ .

**Kata Kunci**—Hidrograf Satuan Sintetis, *Internet of Things*, Penakar Curah Hujan, Sensor.

## I. PENDAHULUAN

LIMPASAN permukaan dan infiltrasi merupakan masalah yang perlu diatasi dalam perencanaan pengelolaan sumber daya air, terlebih lagi perubahan penggunaan lahan yang terjadi sangat mempengaruhi besarnya limpasan permukaan dan laju infiltrasi [1]. Penting di dalam perencanaan suatu infrastruktur terutama pengelolaan sumber daya air untuk membuat pemodelan hidrologi [2]. Data curah hujan merupakan salah satu *input* yang sangat penting untuk menjalankan model hidrologi [3–4].

Keakuratan semua bentuk pengukuran curah hujan sangat penting, khususnya untuk aplikasi pemodelan hidrologi [5]. Mayoritas alat pengukur curah hujan yang digunakan adalah ombrometer yang merupakan alat pengukur curah hujan tipe observasi [6]. Pencatatan nilai curah hujan dilakukan per hari sehingga distribusi hujan pada hari tersebut tidak diketahui. Padahal sifat variabilitas waktu curah hujan lebih penting

daripada distribusi spasialnya dalam menentukan respons hidrologi [7].

Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan sistem pemantauan curah hujan yang dapat menakar tinggi curah hujan dengan variabilitas waktu yang tinggi untuk selanjutnya digunakan mencari hubungan curah hujan dengan debit limpasan dengan metode hidrograf satuan sintetis pada Sub Sistem Medokan Ayu Kota Surabaya. Dari sistem yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan mampu mempermudah pencatatan dan mendapatkan data curah hujan secara *real-time* di berbagai tempat serta memberikan contoh implementasi dalam menjalankan model hidrologi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penakar Curah Hujan

Penakar curah hujan merupakan alat untuk mengukur jumlah hujan yang turun ke permukaan tanah persatuan luas dengan satuan curah hujan yang umum digunakan oleh BMKG adalah milimeter (mm). Dalam penelitian ini, penakar hujan yang digunakan adalah tipe *tipping bucket* seperti pada Gambar 1. *Tipping bucket* digunakan untuk mengukur tinggi dan frekuensi hujan. Nantinya, alat penakar hujan *tipping bucket* ini akan dihubungkan ke berbagai perangkat pemantauan dan diintegrasikan ke dalam sirkuit elektronik. *Tipping bucket* memanfaatkan sensor *reed switch* untuk memberikan masukan pada mikrokontroler berupa perubahan tahanan ketika bejana bergoyang.

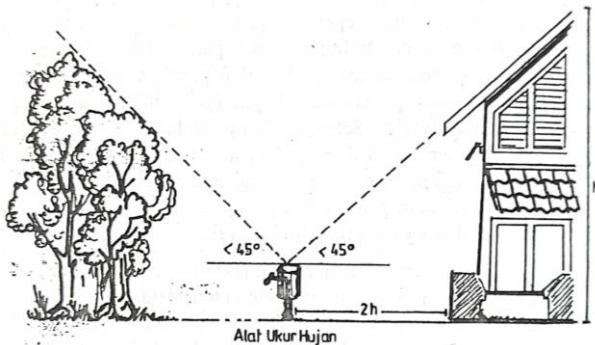
Gangguan utama yang dapat memengaruhi kinerja alat penakar hujan berasal dari angin yang bertiup di sekitar alat tersebut yang akan mempengaruhi kualitas data yang dikumpulkan oleh alat tersebut. Lokasi yang ideal untuk menempatkan alat penakar hujan adalah di daerah dengan permukaan tanah yang datar. Disarankan untuk menghindari punggung gunung yang memiliki topografi bergelombang, terutama daerah dengan kemiringan yang bertentangan dengan arah angin. Selain itu, penting juga untuk mempertimbangkan kondisi sekitar, seperti keberadaan bangunan atau jajaran pohon, yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Lokasi alat penakar hujan yang ideal disajikan pada Gambar 2.

### B. Wemos D1 Mini

Salah satu komponen untuk bisa menerapkan konsep *IoT* yaitu Wemos D1 Mini. Wemos D1 Mini adalah papan pengembangan yang dibangun dengan *chip* Wi-Fi ESP8266, yang dirancang khusus untuk proyek *Internet of Things* (*IoT*). Papan ini dilengkapi dengan pin *GPIO* untuk menghubungkan berbagai sensor dan aktuator, *port micro* USB untuk daya dan pemrograman, serta memori *flash* sebesar 4MB untuk menyimpan *firmware* dan data. Papan ini dapat diprogram



Gambar 1. Penakar curah hujan *tipping bucket*.



Gambar 2. Lokasi alat ukur presipitasi.

menggunakan *Arduino Integrated Development Environment (IDE)*, platform perangkat lunak yang banyak digunakan untuk pemrograman dan pengembangan proyek dengan mikrokontroler.

**C. Sensor Curah Hujan Tipe Tipping Bucket**

Sensor yang digunakan pada sistem pemantauan curah hujan merupakan alat penakar curah hujan otomatis bertipe *tipping bucket*. Prinsip kerjanya adalah ketika hujan turun, air akan masuk melalui corong yang biasanya berbentuk kerucut terbalik, lalu tetesan air dari ujung corong ditampung oleh penampung berayun atau biasa disebut *tipping bucket* seperti pada Gambar 3.

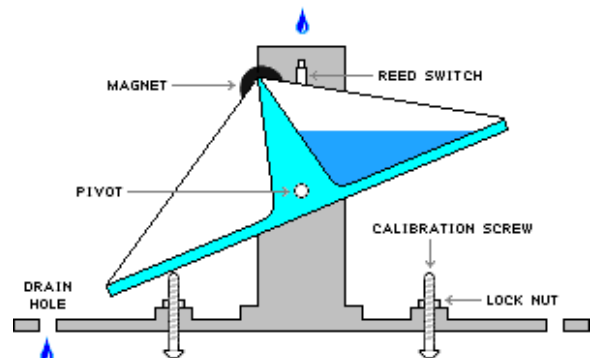
Setiap jatuhnya wadah penampung air akan mengaktifkan *reed switch* magnetik yang hasilnya direkam oleh data *logger*. Cara kerja dari *reed switch* adalah ketika ada medan magnet mengenai bagian depan sensor, maka sensor akan bekerja sehingga menghubungkan kontak. Posisi sensor menempel dengan badan silinder, sehingga saat silinder bergerak naik atau turun maka akan ada medan magnet yang mengenai *reed switch*.

**D. Uji Kinerja Alat**

Uji kinerja yang dilakukan dengan menggunakan metode *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*. NSE adalah metrik yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja model hidrologi. NSE digunakan untuk mengukur seberapa baik suatu model dapat

Tabel 1.  
Kriteria Nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*

Kriteria	Nilai
Sangat Baik	0.75 < NSE ≤ 1.00
Baik	0.65 < NSE ≤ 0.75
Memuaskan	0.50 < NSE ≤ 0.65
Tidak Memuaskan	NSE ≤ 0.50



Gambar 3. Mekanisme sensor *tipping bucket*.

menjelaskan variasi data observasi. Persamaan NSE dapat didefinisikan dalam bentuk berikut:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (R_0 - R_m)^2}{\sum_{t=1}^n (R_0 - \bar{R}_0)^2} \tag{1}$$

$R_0$  adalah curah hujan observasi dan  $R_m$  adalah curah hujan model. Adapun, kriteria penilaian NSE [8] disajikan pada Tabel 1.

**E. Curah Hujan Efektif**

Metode SCS merupakan salah satu metode untuk memperkirakan besarnya nilai curah hujan efektif. Metode SCS ini berlaku terutama untuk luas DAS lebih kecil dari 13 km<sup>2</sup> dengan rata-rata kemiringan lahan kurang dari 30%. Metode SCS digunakan untuk menghubungkan karakteristik DAS dengan bilangan *Curve Number (CN)*, yang menggambarkan kemampuan DAS dalam menampung air hujan pada tingkat curah hujan tertentu. Persamaan curah hujan efektif dengan metode SCS adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{(R - 0,2S)^2}{R + 0,8S} \quad (R > I_a) \tag{2}$$

$$Re = 0 \quad (R \leq I_a) \tag{3}$$

$$S = \frac{(25400 - 254CN)}{CN} \tag{4}$$

$$I_a = 0,2S \tag{5}$$

$Re$  adalah curah hujan efektif (mm),  $R$  adalah curah hujan (mm),  $S$  adalah potensi retensi maksimum (mm),  $CN$  adalah *curve number* dan  $I_a$  adalah abstraksi mula-mula (mm).

**F. Hidrograf Satuan Sintetis**

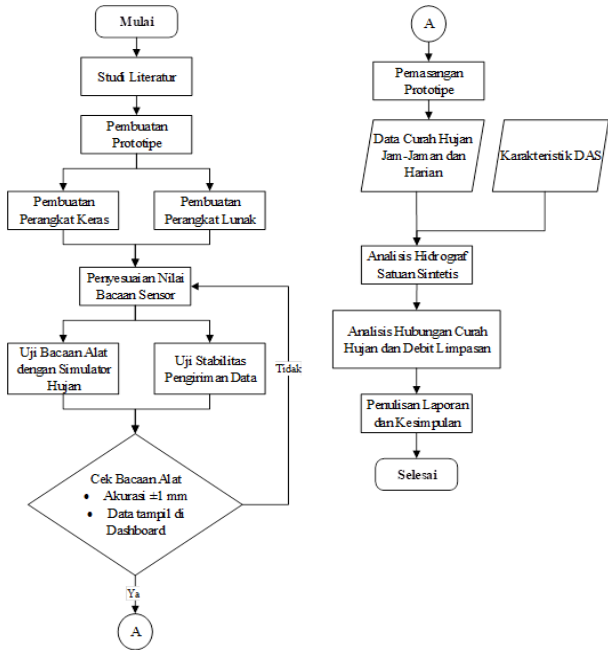
Hidrograf menggambarkan hubungan antara debit air dan waktu secara grafik, dan merupakan respons terhadap hujan yang terjadi di suatu wilayah.

**1) Hidrograf Satuan Sintetis SCS**

Hidrograf satuan sintetis *Soil Conservation Service (SCS)* adalah metode yang digunakan untuk menentukan curah hujan yang diperlukan untuk menyebabkan *run off* pada suatu daerah. Prinsip dasar dari metode ini adalah menggunakan curah hujan yang diterima oleh suatu daerah aliran dan

Tabel 2.  
Parameter Hidrograf

Nilai $\alpha$	Keterangan
2,0	Daerah pengaliran biasa
1,5	Pada bagian naik hidrograf lambat dan turun cepat
3	Pada bagian naik hidrograf cepat dan turun lambat



Gambar 4. Bagan alir.

dikalikan dengan faktor *run off* untuk menentukan jumlah air yang akan mengalir. Persamaan umum hidrograf satuan sintetis SCS adalah sebagai berikut [9]:

$$q_p = \frac{0,75 \times A \times Q}{3,6 \times T_p} \quad (6)$$

$$T_p = \frac{\Delta D}{2} + T_L \quad (7)$$

$$T_L = \frac{L^{0,8}(2540 - 22,86 \times CN)}{14104 \times CN^{0,7} \times S^{0,5}} \quad (8)$$

dengan  $q_p$  adalah debit puncak banjir ( $m^3/detik$ ),  $Q$  adalah hujan efektif satuan ( $mm$ ),  $A$  adalah luas DAS ( $km^2$ ),  $T_p$  adalah waktu puncak ( $jam$ ),  $\Delta D$  adalah durasi curah hujan efektif ( $jam$ ),  $T_L$  adalah waktu kelambatan ( $jam$ ),  $L$  adalah panjang sungai ( $km$ ),  $S$  adalah kemiringan sungai ( $m/m$ ) dan  $CN$  adalah *curve number*.

### 2) Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Hidrograf satuan sintetik Nakayasu dikembangkan berdasarkan hasil pengamatan dari hidrograf satuan alami yang berasal dari sejumlah besar DAS yang ada di Jepang. Persamaan umum hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut:

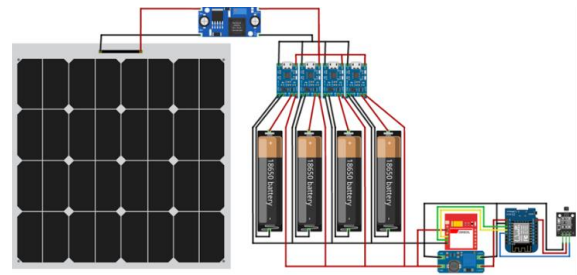
$$q_p = \frac{A \times Re(\dots)}{3,6 \times (0,3 \times T_p + T_{0,3})} \quad (9)$$

$$T_p = T_g + 0,8 \times T_r \quad (10)$$

$$T_g = 0,5279 + 0,058 \times L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km} \quad (11)$$

$$T_g = 0,21 \times L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km} \quad (12)$$

dengan  $q_p$  adalah debit puncak banjir ( $m^3/detik$ ),  $A$  adalah luas daerah pengaliran sampai *outlet* ( $km^2$ ),  $Re$  adalah hujan efektif satuan ( $mm$ ),  $T_p$  adalah waktu puncak ( $jam$ ),  $T_{0,3}$



Gambar 5. Rancangan komponen.

adalah waktu penurunan debit, dari puncak sampai 30% ( $T_{0,3} = \alpha T_g$ ),  $\alpha$  adalah parameter hidrograf seperti pada Tabel 2,  $T_r$  adalah satuan waktu curah hujan ( $jam$ ),  $T_g$  adalah waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak ( $jam$ ), dan  $L$  adalah panjang sungai ( $km$ ).

Adapun, persamaan unit hidrograf adalah sebagai berikut: Pada kurva naik ( $0 \leq t < T_p$ )

$$Q_t = Q_p \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (13)$$

Pada kurva turun

Tahap I ( $T_p \leq t < (T_p + T_{0,3})$ )

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{t - T_p}{T_{0,3}} \quad (14)$$

Tahap II ( $(T_p + T_{0,3}) \leq t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 \times T_{0,3})$ )

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t - T_p) + (0,5 \times T_{0,3})}{1,5 \times T_{0,3}} \quad (15)$$

Tahap III ( $t \geq (T_p + T_{0,3} + 1,5 \times T_{0,3})$ )

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t - T_p) + (0,5 \times T_{0,3})}{2 \times T_{0,3}} \quad (16)$$

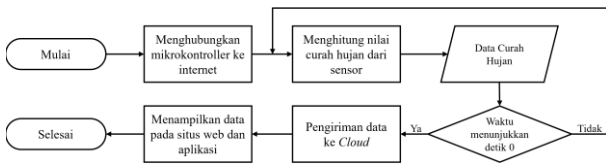
## III. URAIAN PENELITIAN

### A. Tahapan Penelitian

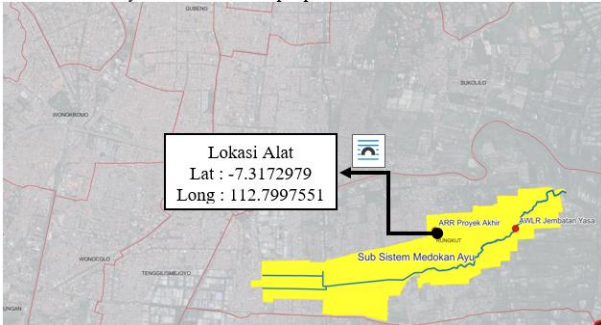
Bagan alir tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, tahapan penelitian dibagi menjadi empat tahapan, yaitu: (1) Pembuatan sistem pemantauan curah hujan berbasis IoT: terdapat tiga proses dalam pembuatan sistem yaitu perakitan komponen seperti disajikan pada Gambar 5, penyesuaian nilai bacaan sensor dan pengujian sistem. Setelah alat terpasang, alat dibiarkan selama 1 bulan untuk mencatat data curah hujan. (2) Pengumpulan data curah hujan: Data curah hujan yang telah tercatat oleh alat yang terpasang selama 1 bulan akan dikumpulkan dengan cara mengakses antarmuka aplikasi, kemudian mengunduh atau mencetak data yang tersimpan. (3) Penilaian kinerja alat: menilai kinerja alat dalam memodelkan curah hujan dari sebuah pos hujan digunakan metode NSE. (4) Analisis hidrograf satuan sintetis: menghitung debit limpasan yang terjadi pada sub sistem Medokan Ayu Kota Surabaya yang akan memberikan informasi tentang debit limpasan dan waktu puncak yang akan terjadi.

### B. Metode Kerja Sistem

Secara umum sistem bekerja dengan membaca dan menghitung nilai curah hujan kemudian mengirimkan data tersebut ke *cloud* melalui jaringan GSM untuk terhubung ke internet. Selanjutnya, data yang tersimpan ditampilkan pada



Gambar 6. Diagram alir metode kerja sistem pemantauan curah hujan berbasis IoT rancangan komponen.



Gambar 7. Lokasi alat.



Gambar 8. Alat terpasang.

antarmuka situs web dan aplikasi. Metode kerja sistem disajikan pada Gambar 6.

C. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada sub sistem Medokan Ayu. Adapun, lokasi pemasangan dilakukan dengan cara menempatkan alat tersebut pada daerah cakupan dari sub sistem Medokan Ayu pada Gambar 7. Pemasangan alat harus dilakukan dengan hati-hati agar alat tersebut dapat bekerja dengan baik dan memberikan hasil yang akurat. Karena keterbatasan izin penggunaan lahan, alat tidak dapat ditempatkan pada permukaan tanah yang datar. Di mana, lokasi pemasangan alat telah bebas dari keberadaan bangunan atau jajaran pohon dalam jarak 2h sesuai dengan Gambar 8.

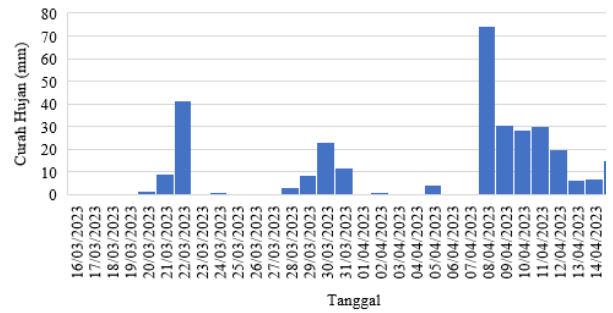
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemantauan Curah Hujan

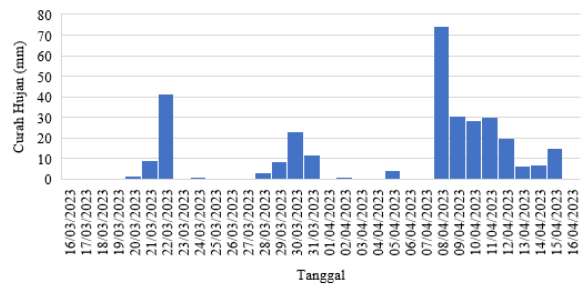
Data yang diperoleh berupa jumlah curah hujan yang terukur dalam satuan milimeter. Pengambilan data dari prototipe penakar hujan dilakukan dengan cara mengakses antarmuka aplikasi, kemudian mengunduh atau mencetak data yang tersimpan. Pengumpulan data dari alat penakar hujan dilakukan selama 1 bulan. Adapun, histogram hasil pencatatan alat disajikan pada Gambar 9.

B. Uji Kinerja Alat

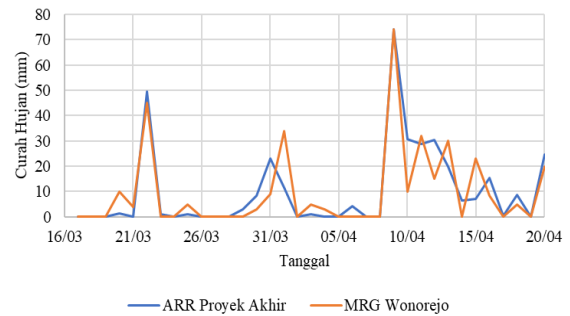
Diketahui pos hujan yang paling dekat dengan lokasi



Gambar 9. Histogram hasil pencatatan alat.



Gambar 9. Histogram hasil pencatatan alat.



Gambar 10. Perbandingan data curah hujan dengan MRG Wonorejo.

penelitian adalah pos hujan Wonorejo. Karena terdapat perbedaan waktu pencatatan hujan yang mana pencatatan data hujan pos hujan Wonorejo dilakukan setiap pukul 06:00 sedangkan ARR proyek akhir setiap pukul 00:00, maka data curah hujan ARR proyek akhir disesuaikan dengan waktu pencatatan pos hujan Wonorejo. Perbandingan data dari masing-masing alat penakar hujan ditampilkan pada Gambar 10.

C. Hidrograf Satuan Sintetis

Karakteristik DAS yang akan digunakan pada perhitungan hidrograf satuan sintetis adalah sebagai berikut:

- Luas (A) = 5,672 km<sup>2</sup>
- Curve Number (CN) = 72,79
- Panjang sungai (L) = 6,88 km
- Beda tinggi (ΔH) = 0,826 m
- Kemiringan (S) = 0,00012
- Satuan waktu hujan = 1 menit = 0,01667 jam
- Parameter hidrograf (α) = 1,5 (bagian turun hidrograf cepat)

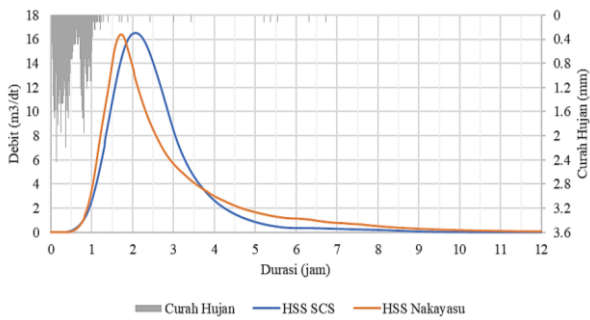
1) Hidrograf Satuan Sintetis SCS

$$T_L = \frac{L^{0,8}(2540 - 22,86 \times CN)}{14104 \times CN^{0,7} \times S^{0,5}}$$

$$= 6,88^{0,8} \frac{(2540 - 22,86 \times 72,79)}{14104 \times 72,79^{0,7} \times 0,00012^{0,5}} = 1,319 \text{ jam}$$

$$T_p = \frac{\Delta D}{2} + T_L$$





Gambar 15. Hidrograf limpasan tanggal 8 April 2023.

$$= \frac{0,01667}{2} + 1,319 = 1,327 \text{ jam}$$

$$Q_P = \frac{0,75 \times A \times Q}{3,6 \times T_p}$$

$$= \frac{0,75 \times 5,672 \times 1}{3,61 \times 1,327} = 0,89 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm}$$

Adapun, hasil grafik unit hidrograf SCS berdimensi ditunjukkan pada Gambar 11.

2) *Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu*

$$T_g = 0,21 \times L^{0,7} \text{ (karena } L < 15 \text{ km)}$$

$$= 0,21 \times 6,88^{0,7} = 0,81 \text{ jam}$$

$$T_p = T_g + 0,8 \times T$$

$$= 0,81 + 0,8 \times 0,01667 = 0,823 \text{ jam}$$

$$Q_P = \frac{A \times Re}{3,6 \times (0,3 \times T_p \times T_{0,3})}$$

$$= \frac{5,672 \times 1}{3,6 \times (0,3 \times 0,823 + 1,215)} = 1,078 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm}$$

Adapun, hasil grafik unit hidrograf SCS berdimensi ditunjukkan pada Gambar 12.

D. *Debit Limpasan*

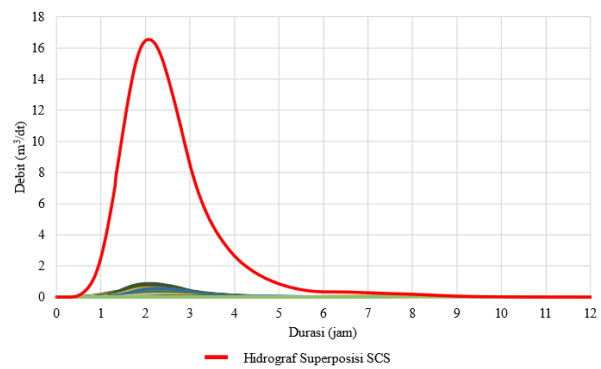
Pada kenyataannya intensitas hujan yang terjadi tidak merata dan lamanya hujan biasanya kurang ataupun lebih dari satu jam, dalam hal ini sebuah hidrograf didefinisikan sebagai superposisi dari hidrograf satuan akibat total curah hujan yang terjadi. Dengan demikian total hidrograf dianggap merupakan jumlah kumulatif dari hidrograf satuan dikalikan curah hujan yang terjadi sesungguhnya. Proses superposisi hidrograf hanya memperhitungkan distribusi hujan efektif.

Distribusi curah hujan efektif tanggal 8 April 2023 yang didapatkan dari hasil bacaan alat dikalikan dengan persamaan curah hujan efektif metode *curve number*. Hasil perhitungan digambarkan dan akan didapat hidrograf superposisi yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14. Apabila dibandingkan, Gambar 15 menggambarkan hidrograf limpasan yang membandingkan hasil superposisi HSS SCS dan HSS Nakayasu.

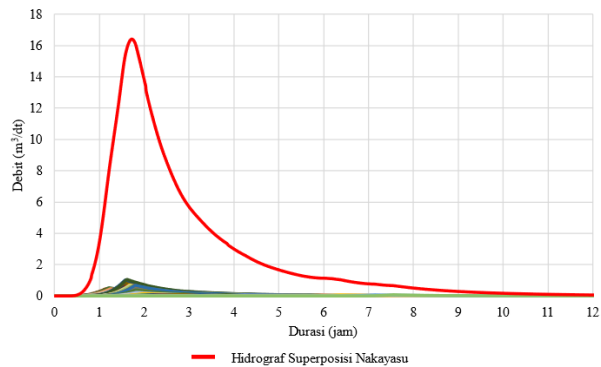
Debit Puncak untuk SCS adalah 16,543 m<sup>3</sup>/dt dan Nakayasu adalah 16,409 m<sup>3</sup>/dt, sedangkan waktu puncak untuk SCS adalah Pukul 17:28 (2,067 jam) dan Nakayasu adalah Pukul 17:07 (1,717 jam).

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sistem pemantauan curah hujan berbasis *IoT* dan hasil analisis hidrograf satuan sintetis diperoleh kesimpulan sebagai berikut: (1) Sistem pemantauan curah hujan berbasis *IoT* bekerja dengan cara



Gambar 13. Hidrograf superposisi SCS tanggal 8 April 2023.



Gambar 14. Hidrograf superposisi Nakayasu tanggal 8 April 2023.

mengukur curah hujan sensor, kemudian dicatat dan diolah oleh mikrokontroller, lalu data dikirim ke *cloud* dan ditampilkan secara *real-time* pada antarmuka aplikasi/web. (2) Alat yang dikembangkan menunjukkan kinerja sangat baik (NSE=0,831) apabila dibandingkan dengan pos hujan Wonorejo. (3) Data curah hujan yang telah dicatat digunakan untuk menganalisis hubungan curah hujan dan debit limpasan dengan metode SCS dan Nakayasu. (4) Dengan metode HSS SCS, untuk setiap 1 mm hujan efektif dari CN=72,79 akan menghasilkan debit limpasan sebesar 0,890 m<sup>3</sup>/dt dengan waktu puncak 1,327 jam, sedangkan metode HSS Nakayasu menghasilkan debit limpasan sebesar 1,078 m<sup>3</sup>/dt dengan waktu puncak 0,823 jam. (5) Selama periode pengamatan dari tanggal 17 Maret–20 April 2023 didapatkan debit limpasan terbesar pada tanggal 8 April 2023 pukul 17:28 sebesar 16,543 m<sup>3</sup>/dt.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Harisuseno, M. Bisri, A. Yudono, and F. Dwi Purnamasari, "Analisa spasial limpasan permukaan menggunakan model hidrologi di wilayah perkotaan," *J. Enviromental Eng. Sustain. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 51–57, Oct. 2014, doi: 10.21776/ub.jeeest.2014.001.01.8.
- [2] A. Bárdossy, "Calibration of hydrological model parameters for ungauged catchments," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 703–710, 2007, doi: 10.5194/hess-11-703-2007.
- [3] S. J. Wood, D. A. Jones, and R. J. Moore, "Accuracy of rainfall measurement for scales or hydrological interest," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 531–543, 2000, doi: 10.5194/hess-4-531-2000.
- [4] A. A. dos Reis, A. Weerts, M. H. Ramos, F. Wetterhall, and W. dos S. Fernandes, "Hydrological data and modeling to combine and validate precipitation datasets relevant to hydrological applications," *J. Hydrol. Reg. Stud.*, vol. 44, p. 101200, 2022, doi: 10.1016/j.ejrh.2022.101200.
- [5] S. Stisen *et al.*, "On the importance of appropriate precipitation gauge catch correction for hydrological modelling at mid to high latitudes," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 16, no. 11, pp. 4157–4176, 2012, doi: 10.5194/hess-16-4157-2012.
- [6] H. Rahmawan, D. M. Muhammad, and Farianto, "Pengembangan sistem pengukur curah hujan di sungai Jakarta berbasis IoT," *J. Ilmu Komput. dan Agri-Informatika*, vol. 9, no. 1, pp. 23–36, May 2022, doi:

- 10.29244/jika.9.1.23-36.
- [7] W. F. Krajewski, V. Lakshmi, K. P. Georgakakos, and S. C. Jain, "A monte carlo study of rainfall sampling effect on a distributed catchment model," *Water Resour. Res.*, vol. 27, no. 1, pp. 119–128, Jan. 1991, doi: 10.1029/90WR01977.
- [8] D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith, "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations," *Trans. ASABE*, vol. 50, no. 3, pp. 885–900, 2007, doi: 10.13031/2013.23153.
- [9] US Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (NRCS), *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, 2013. ISBN: 979-8355357214.