

**PENGEMBANGAN SISTEM PERINGATAN DINI BENCANA BANJIR DENGAN
PENELUSURAN MUSKINGUM-CUNGE**

***Development of Early Warning System for Floods Using Muskingum-Cunge
Routing***

Mahmud Achmad, Daniel Useng, Totok Prawitosari, Abdul Waris

Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hassanuddin, Makassar

ABSTRAK

Banjir merupakan suatu bencana yang terkadang datang secara tiba-tiba karena kejadian banjir dapat terjadi akibat banjir kiriman, banjir lokal maupun banjir pasang. Hal ini menyulitkan masyarakat dalam mengantisipasi resiko yang ditimbulkan oleh bencana banjir. Salah satu kejadian banjir yang paling sering terjadi adalah banjir kiriman dari hulu daerah aliran sungai (DAS). Pengurangan dampak bencana banjir dapat dilakukan dengan membuat sistem peringatan dini (EWS) yang mengacu pada sistem penelusuran aliran dimana hidrograf debit atau tinggi air di DAS hulu dijadikan acuan untuk menduga hidrograf di wilayah hilir. Tujuan penelitian ini adalah untuk membangun EWS. Tinggi air ini dapat direkam oleh sensor tinggi air kemudian diolah oleh mikrokontroler sebagai informasi kedatangan banjir kiriman melalui sistem Short Message Service (SMS). Prototipe ini akan dibangun di Laboratorium Teknik Tanah dan Air (Hidrologi dan Mekanika Fluida) bekerjasama dengan Laboratorium Elektronika dan Kontrol, Program Studi Keteknikan Pertanian Fakultas Pertanian Unhas.

Prototipe sistem dengan menggunakan kontrol rotary encoder telah dibangun dengan tingkat ketepatan waktu hampir 99,75% untuk provder pengirim dan penerima yang sama dan 99,47% untuk provider penngirim dan penerima yang berbeda atau waktu tunda masing-masing rata-rata 9 detik dan 18.94 detik. Bila dibandingkan dengan perbedaan waktu puncak hidrograf hulu dan hilir di Sub-Das Tadeang yang rata-rata satu jam maka nilai ini tidak mempengaruhi kinerja sistem yang telah dibangun. Apalagi sistem ini bekerja pada derajat signal yang sedang (band 2 dari skala 4).

Kata Kunci: Banjir, Muskingum-Cunge, Rotary encoder, Sistem Peringatan Dini

ABSTRACT

Flooding is a disaster that sometimes come unexpectedly because flooding events can occur due to flooding from upstream, local flooding, and backwater flooding from the sea. It is difficult to anticipate the risks posed by floods. One of the most frequent flood events occur is flood from upstream watersheds (catchment area). Reducing the impact of flooding can be done by creating an early warning system that refers to the flood routing system where discharge or water elevation hydrographs in the upstream are used as a reference for determining the hydrograph in the downstream region. The aim of this study is to develop an early warning system for floods. Water elevation can be recorded by a water elevation sensor, then data will be processed by the microcontroller as flood arrival information via the Short Message Service (SMS) indicated as early warning system. This prototype has been built at the Laboratory of Soil and Water Engineering (Hydrology and Fluid Mechanics) in collaboration with the Laboratory of Electronics and Control, Agricultural Engineering Program, Faculty of Agriculture, Unhas.

The prototype with two rotary encoder sensors have been built with a level of time accuracy of 99.75% for the sender and recipient with the same GSM provider and 99.47% for the sender and recipient of different providers. The time delay for the same and different sender and recipient are 9 seconds and 18.94 seconds, respectively. Compared with the different time between the peak of upstream and downstream hydrograph in Sub-Das Ta'deang with an average of one hour, then the time delay value does not affect the performance of the system that has been built. Moreover, this system works on the degree of signal that is being averagely medium (band 2 of the scale of 4).

Keywords: Flood, Muskingum-Cunge, Rotary encoder, Early Warning System

PENDAHULUAN

Pengembangan sistem peringatan dini bencana banjir di Sulawesi Selatan masih sangat terbatas, hal ini dapat dilihat dari banyaknya bencana yang terjadi di beberapa lokasi yang menimbulkan kerugian material dan bahkan terjadinya korban jiwa.

Permasalahan utama yang dihadapi praktisi hidrologi adalah mengestimasi hydrograph menaik dan menurun dari suatu sungai pada sebaran titik pengaliran terutama selama periode banjir. Permasalahan ini dapat diatasi dengan teknik penelusuran aliran atau penelusuran banjir yang mengolah sifat-sifat hydrograph banjir di hulu atau di hilir dari suatu titik ke titik yang lain sepanjang aliran sungai. Penelusuran dilakukan dari titik dimana ada data pengamatan hidrograf aliran untuk memudahkan proses penelusuran itu sendiri (Kodoatie dan Sugianto, 2002).

Suatu hidrograf banjir dapat dimodifikasi dengan dua cara sebagaimana air hujan mengalir menuruni jaringan pengaliran air (*drainage network*). Pertama waktu berkumpulnya aliran-aliran untuk terjadinya aliran dan puncaknya pada suatu titik di daerah hilir. Ini disebut sebagai translasi. Kedua, besarnya laju aliran puncak yang bergerak menuju titik di aliran bawah, serta lama waktu aliran mencapai titik bawah. Modifikasi hidrograf ini disebut *attenuation* (Maidment, 1989).

Penurunan hidrograf aliran di bagian bawah seperti B pada Gambar 1 dari hulu yang disebabkan oleh pola hidrograf banjir A merupakan hal penting untuk diperhatikan dalam manajemen sungai sebagai upaya prediksi banjir di wilayah bagian *river basin*. Dalam hal disain, penelusuran hidrograf banjir juga penting untuk mengatur kapasitas *spillway* reservoir. Disamping itu jadwal pencegahan banjir atau evaluasi tinggi bangunan jagaan banjir di tanggul sungai juga perlu diperhatikan (Achmad, et. al, 2012). Bila penelusuran banjir dapat dilakukan dengan baik, maka nilai translasi hidrograf dapat ditentukan. Nilai ini akan digunakan sebagai acuan dalam menyusun sistem informasi peringatan dini berdasarkan karakteristik pengaliran air dari hulu ke hilir di dalam DAS.

Penggunaan data tinggi muka air atau debit diolah oleh mikrokontroller untuk selanjutnya disusun secara algoritmik untuk menyampaikan informasi di daerah hilir (daerah dampak banjir atau rawan bencana banjir) melalui sistem pesan singkat. Hal ini memberikan kesigapan dan kesiapan masyarakat dalam mengantisipasi kejadian banjir yang datang dalam kurung waktu translasi debit puncak antara hulu dan hilir.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat prototipe sistem peringatan dini bencana banjir yang dikembangkan melalui sistem penelusuran aliran pada skala laboratorium, berdasarkan karakteristik DAS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengurangi tingkat resiko akibat kejadian banjir bagi masyarakat yang bermukim di wilayah hilir DAS melalui antisipasi dini kedatangan banjir.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama enam bulan yakni pada bulan Mei sampai November 2013 untuk membuat prototipe sistem sungai. Maros (Sub DAS Bantimurung) yang dilaksanakan di Pusat Kajian Teknik Tanah dan Air (pada Lab Hidrologi dan Mekanika Fluida dan Lab. Elektronika dan Instrumentasi).

Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini memerlukan beberapa bahan dan alat. Bahan penelitian terdiri dari komponen-komponen yang akan dirakit, sedangkan alat penelitian terdiri dari perangkat-perangkat yang mendukung dalam pembuatan alat ini. Perangkat-perangkat ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras, perangkat lunak digunakan pada perancangan skema rangkaian dan papan PCB serta pada pemrograman mikrokontroler ATmega128L sedangkan perangkat keras digunakan pada pengujian-pengujian alat pada setiap blok-blok rangkaian yang tersusun untuk membentuk suatu sistem pengaman.

Bahan Penelitian

Pada tahap awal dalam pembuatan prototipe sistem peringatan dini bencana banjir, dibutuhkan bahan penelitian sebagai berikut:

1. Mika dan fiberglass untuk membuat prototipe saluran air
2. Rangka yang dibuat dari besi siku/hollow.
3. Seng plat untuk rumah sistem mikrokontrol
4. Pompa air sebagai sumber air
5. Alat kontrol debit pompa untuk mengatur debit keluaran pompa untuk menciptakan gelombang air yang membentuk hidrograf banjir.
6. Sensor ketinggian air digunakan pada bagian input mikrokontroler, yaitu sebagai pendeteksi air dalam mengukur tinggi permukaan air.
7. Rangkaian max232 konverter adalah rangkaian pengubah level tegangan *handphone* ke standar TTL mikrokontroler, dan sebagai pembaca data yang dapat dilihat pada *hyperterminal* pada *windows*.
8. Mikrokontroler sebagai pembaca masukan 4 buah sensor laser dan dapat di antarmuka dengan *handphone* melalui serial komunikasi dengan *baudrate* 19200 Bps (*Bits per Second*).
9. Papan PCB untuk meletakkan komponen-komponen yang akan digunakan.
10. X-tal (kristal) 11.0592 MHz sebagai pembangkit *clock* yang digunakan sebagai *baudrate* pada proses pengiriman data serial antara dua mikrokontroler.
11. Trafo 1A digunakan sebagai catu tegangan untuk rangkaian keseluruhan.
12. IC regulator 78L05 sebagai regulator tegangan yang menghasilkan tegangan keluaran ± 5 Vdc, sebagai catu mikrokontroler dan IC lainnya.
13. Resistor, kapasitor, dioda, socket/jack, dan kabel.

Prosedur Penelitian

Pada dasarnya prototipe ini merupakan suatu rangkaian yang terdiri atas beberapa bagian, yaitu terdiri dari bagian saluran yang dipasang sensor pendeteksi air, dan bagian pemroses yaitu bagian pembaca keluaran sensor laser bagian penerima, bagian pengirim sinyal pesan. Semua rangkaian itu akan membentuk suatu sistem komunikasi antara mikrokontroler dengan *handphone* dengan *baudrate* 19200 Bps. Untuk memudahkan penelitian yaitu dengan cara membagi rangkaian-rangkaian menjadi beberapa bagian seperti, rangkaian sensor, sistem minimum mikrokontroler, rangkaian CMOS ke TTL *converter*.

1. Pembuatan prototipe sungai/saluran dan rangkaian kontrol aliran

- a) Pembuatan prototipe sungai yang dirangkai dengan menggunakan mika/fiberglass dengan rangka besi.
- b) Perangkaian alat kontrol debit dan pompa

2. Perancangan Perangkat Lunak Mikrokontroler ATmega 128 L

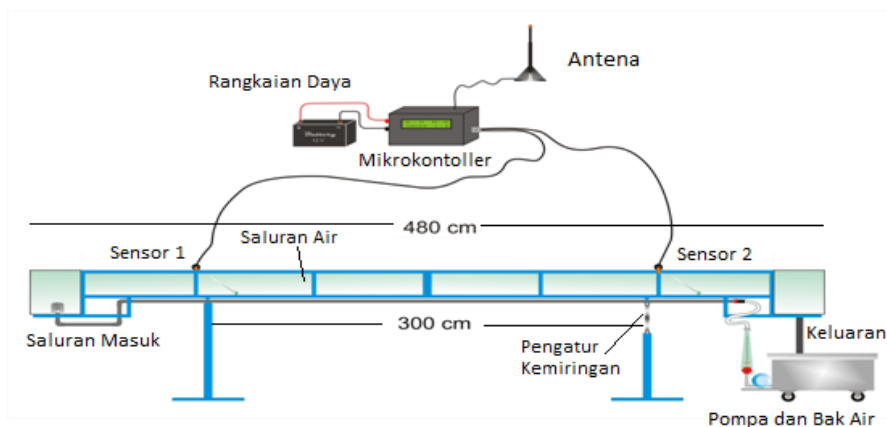
- a) Inisialisasi komunikasi serial *baudrate* 19200 Bps Inisialisasi diperlukan untuk menetapkan satuan kecepatan transfer data atau *baudrate*, dan jenis pengiriman data antara mikrokontroler dan *handphone*. Pada alat ini *baudrate* yang harus digunakan adalah 19200 *bit per second* (bps) Mikrokontroler sebagai pembaca keluaran sensor air
- b) Perancangan program mikrokontroler sebagai sarana input dari sensor air yaitu mikrokontroler terus-menerus mengecek keadaan *port* yang terhubung dengan sensor air. Mikrokontroler mendeteksi logika apakah berlogika '0' pada *pin* yang terhubung pada penerima laser adalah P2.0 – P2.3. Setelah mengetahui *port* 2.0 / *port* 2.1 / *port* 2.2 / *port* 2.3 berlogika '0' maka mikrokontroler akan mengeluarkan data melalui *pin* TXD ke bagian konversi CMOS untuk mengirimkan pesan ke nomor tujuan yang telah ditentukan. Mikrokontroler ini akan dibuatkan casing/rumah untuk melindungi dari gangguan luar.

3. Pengujian Sensor Air

Tahap berikutnya adalah pengujian sensor air, yaitu melakukan pengujian terhadap tegangan sensor yang dilakukan pengukuran pada saat sensor tidak

terkena air dan sensor terkena air. Pengujian atau pengukuran ini dilakukan dengan cara menghubungkan multimeter analog pada bagian tegangan melalui empat titik / tahap . Pada saat sensor tidak terkena air pengukuran dilakukan dengan proses empat titik / tahap yaitu titik 1, titik 2, titik 3 dan titik 4 yang masing-masing untuk mengukur arus tiap komponen yang ada pada rangkaian sensor air. Begitu juga pada saat sensor terkena air proses pengukurannya pun sama yaitu melalui bagian titik-titik sensor yang lain pada batang ukur.

Pengujian awal dilakukan di lapangan untuk setting awal di Sub-DAS Bantimurung untuk memperoleh Gambaran *scale-up* model yang telah dibuat dan akan dilanjutkan pada tahun kedua untuk validasi dan verifikasi sistem yang telah dibangun (termasuk pengukuran hidrograf debit sungai).



Gambar 1. Prototype model sistem peringatan dini bencana banjir

4. Perancangan SMS Gateway

SMS Gateway digunakan untuk menerima data dari mikrokontroller dan selanjutnya dikirim ke computer atau dikirim ke GSM penerima (mobile receiver). SMS Gateway dirakit dengan menggunakan SMS starter kit dan display sistem

5. Pengujian Sistem Pengiriman Informasi

Pengujian prototype sistem peringatan dini dilihat dari waktu delay informasi hidrograf yang terkirim secara otomatis dari hasil pengukuran oleh sensor rotary encoder yang waktu intervalnya dapat diatur (dalam model prototype ini interval waktu pengiriman diset setiap 60 detik). Pengujian ketepatan waktu dilakukan dengan menggunakan satu provider pengirim (TSEL) dan dua provider penerima (TSEL dan XL).Pengujian Sistem Pengiriman

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendekatan Rancangan

Instrumen yang digunakan untuk menentukan hidrograf di hulu diperoleh melalui pengukuran ketinggian permukaan air dari model saluran dalam periode waktu tertentu pada suatu hidrograf tunggal. Secara keseluruhan alat ini membutuhkan unit pendeteksi ketinggian permukaan air, unit pengolah data, dan unit pengiriman data.

1. Rancangan Fungsional

Saluran yang digunakan merupakan model dari saluran yang ada dilapangan dalam bentuk mini, sehingga untuk pengukuran ketinggian permukaan air harus diukur dengan tingkat presisi yang tinggi dan juga harus diukur dengan cepat. Selain itu juga dilakukan simulasi untuk pengiriman data melalui *Short Message Service* untuk aplikasinya dilapangan.

Unit Pendeteksi ketinggian permukaan air. Unit ini berfungsi untuk mendeteksi ketinggian permukaan air secara presisi. Untuk mendeteksi ketinggian

permukaan air membutuhkan pelampung. Untuk membaca perpindahan posisi pelampung berdasarkan perubahan ketinggian membutuhkan sensor yang dapat mengkonversi perubahan posisi pelampung menjadi informasi yang dapat diolah oleh unit pengolah data. Selain pelampung dan sensor membutuhkan penghubung dan rangka yang menopang keseluruhan unit pendeteksi ketinggian permukaan air

Unit pengolah data. Unit ini berfungsi untuk mengolah data yang diperoleh dari unit pendeteksi ketinggian permukaan air. Alat yang digunakan harus mampu melakukan pengolahan data dengan performa dan kecepatan yang tinggi. Data akan diambil secara periodik, sehingga komponen ini harus memiliki penghitung waktu, Selain itu memiliki jalur komunikasi agar dapat dihubungkan dengan unit pengiriman data atau dapat berkomunikasi dengan komputer PC

Unit Pengiriman data. Unit ini berfungsi untuk mengirimkan data yang telah diolah. Unit ini harus mampu mengirimkan data dalam range yang luas dan dalam waktu yang cepat sesuai dengan kecepatan aliran air untuk mencapai daerah tertentu.

2. Rancangan Struktural

Berdasarkan uraian di atas ada tiga komponen yang dirancang yaitu unit pendeteksi ketinggian permukaan air, unit pengolah data, dan unit pengiriman data (Kaltenbacher, 2007).

Unit Pendeteksi ketinggian permukaan air. Model saluran yang digunakan memiliki dimensi lebar saluran ± 12 cm oleh karena itu untuk meminimalisir efek yang ditimbulkan terhadap aliran maka pelampung yang digunakan berbentuk bola dengan diameter ± 40 mm. untuk membaca perpindahan posisi pelampung berdasarkan ketinggian permukaan air menggunakan *rotary encoder* tipe *increment*.



Gambar 2. Sensor tipe *Rotary Encoder* tipe *Increment* pendeteksi ketinggian air

Ketinggian model saluran 23 cm, untuk memutar *rotary encoder* menggunakan *pulley* dengan diameter 3,5 cm. sehingga untuk mendeteksi perubahan ketinggian permukaan air setiap $\approx 0,3$ mm digunakan *rotary encoder* dengan 360 pulsa.

Spesifikasi sensor jenis *Rotary Encoder* tipe *increment* dapat dilihat seperti pada Tabel 1.

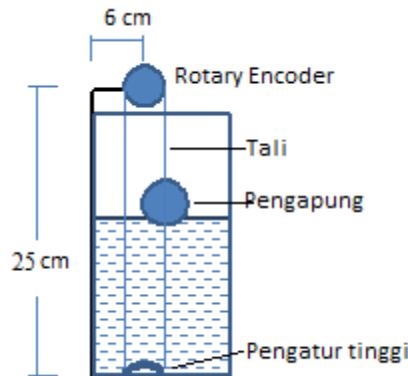
Tabel 1. Spesifikasi sensor *Rotary Encoder* tipe *increment*

| | |
|-----------------------------|---|
| Accessory | \varnothing 4 mm Coupling |
| Allowable Revolution | Max. 5000 rpm |
| Ambient Humidity | 35 ~ 85%RH, Storage: 35 ~ 90%RH |
| Ambient Temperature | -10 ~ 70 °C (at non-freezing status), Storage: -25 ~ 85 °C |
| Control Output | Totem Pole |
| Current Consumption | Max. 60 mA (disconnection of the load) Line driver output: Max. 50mA (disconnection of the load) |
| Deviation of Shaft Position | Radial: Max. 0.1mm, Thrust: Max. 0.2mm |
| Dielectric Strength | 750 VAC 50/60 Hz for 1 minute (Between all terminals and case) |
| Insulation Resistance | Min. 100M Ω (at 500 VDC) |
| Rotor Inertia | Max. 20g - cm ² (2×10^{-6} kg·m ²) |
| Model | \varnothing 30 mm Shaft Type Encoder (Incremental Type) |
| Phase Difference of | Output between A and B phase: $T / 4 \pm T / 8$ (T = 1 cycle) |

| | | |
|---------------------------|--|------|
| Output | of A phase) | |
| Protection | IP50 (JEC standard) | ntuk |
| Response Frequency | Max. 180 kHz | men |
| Shaft Loading | Radial: Max. 2 kgf, Thrust: Max. 1 kgf | opa |
| Shock | Max. 50G | ng |
| Starting Torque | Max. 20gf - cm (0.002N - m) | kes |
| Vibration | 1.5mm amplitude at frequency of 10 ~ 55 Hz in each of X, Y, Z directions for 2 hours | elur |
| Response Time (Rise/Fall) | Max. 1µs | uha |
| Diameter | 30 mm | n |
| Resolution (P/R) | 100 | unit |
| Output Phase | A, B, Z (Standard) | ini |
| Output | Totem Pole | men |
| Power Supply | 12 - 24 VDC | ggu |
| Cable | Ø 5mm, 5P, Length:2m, Shield cable | nak |
| Cable Connection | Normal | an |

U
ntuk
men
opa
ng
kes
elur
uha
n
unit
ini
men
ggu
nak
an
besi
plat
aga
r

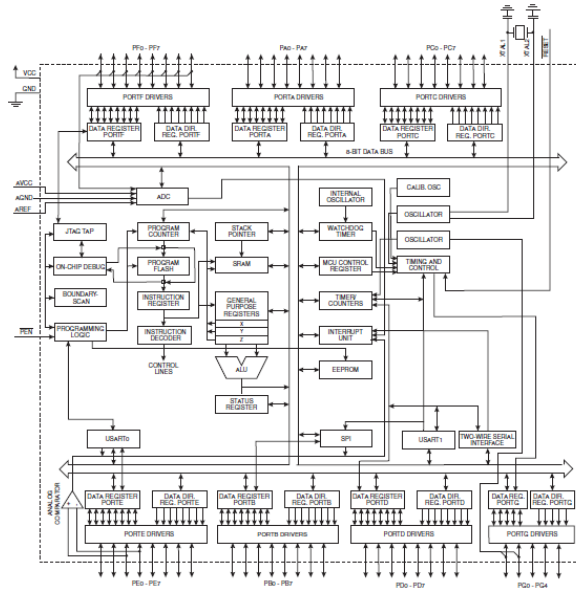
mampu menahan gaya yang diakibatkan dari kecepatan aliran. Tinggi tiang dibuat lebih tinggi dari tinggi saluran yaitu 25 cm dan panjang lengannya didesain agar pelampung tepat berada ditengah saluran yaitu sepanjang 6 cm. untuk menghubungkan pelampung dengan *pulley* pada *rotary encoder* menggunakan benang *nylon*.



Gambar 3 Pendeteksi ketinggian permukaan air

Unit pengontrol. Unit pengolah data harus memiliki performa dan kecepatan yang tinggi dalam pengolahan data serta memiliki penghitung waktu dan juga jalur komunikasi sehingga unit ini menggunakan modul DT-AVR ATMEGA128L Bootloader Micro System. Modul ini memiliki clock ± 7 MHz atau mampu mengolah sekitar 7 juta data perdetiknya. Selain itu modul ini berisi chip ATmega 128 L yang memiliki memori untuk program sebesar 124 kb dan juga memiliki 8 eksternal interrupt sehingga bisa digunakan untuk membaca 8 *rotary encoder* sekaligus. Untuk penghitung waktu, chip ini memiliki 2 timer 16 bit dan 2 timer 8 bit. Chip ini memiliki sistem komunikasi dua jalur dengan USART.

DT-AVR ATmega128L Boot Loader Micro System merupakan modul single chip berbasis mikrokontroler ATmega128L yang dilengkapi dengan bootloader sehingga memudahkan untuk melakukan *In-System Programming*. *In-System Programming* dapat dilakukan melalui jalur komunikasi UART dengan bantuan bootloader dan software AVR Bootloader. Modul ini juga menyediakan jalur komunikasi UART untuk komunikasi dengan komputer atau perangkat lain melalui jalur USB, UART TTL, maupun UART RS-232 (Koch et. al.,2007).



Gambar 4. Blok Diagram AT Mega 128L

Unit Pengiriman data

Pengiriman data harus mampu menjangkau daerah yang luas. Oleh karena itu unit ini menggunakan modul GSM starter kit. Karena jaringan GSM memiliki *coverage area* yang luas dan hampir diseluruh daerah telah ter-cover dengan jaringan ini. Untuk mengetahui *provider* yang akan digunakan akan dilakukan pengujian untuk mengetahui *provider* yang memiliki jangkauan yang luas dan cepat dalam pengiriman datanya.

GSM STARTER KIT merupakan modul pengembangan teknologi GSM/ GPRS berbasis SIM300C untuk sarana bertukar suara (telepon), bertukar data teks (SMS) melalui GSM dan bertukar data melalui GPRS.

Modul ini dilengkapi dengan sebuah LCD 16 karakter x 2 baris untuk media tampilan. Modul ini memiliki antarmuka serial UART TTL / RS232. Modul ini dapat digunakan untuk aplikasi penjualan pulsa elektronik telepon selular, maupun aplikasi lain yang membutuhkan komunikasi data melalui GSM/GPRS

Hidrograf Penelusuran Banjir dengan Metode Muskingum-Cunge

Metode Muskingum untuk penggal sungai tanpa aliran lateral, dikembangkan dengan nilai parameter penelusuran (*C_i*) secara langsung. Metode ini membutuhkan data hidrograf *inflow* dan data fisik penggal sungai yang ditinjau.

Nilai koefisien *K* dan *X* pada metode Muskingum-Cunge pada setiap pengamatan hidrograf aliran secara detail dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Nilai koefisien *K* dan *X* pada Metode Muskingum-Cunge Sungai Ta'deang

| Periode | Muskingum-Cunge | | Lama Hidrograf (jam) |
|-------------|-----------------|----------|----------------------|
| | <i>K</i> | <i>X</i> | |
| Hidrograf 1 | 3846.97 | 0.493 | 46,0 |
| Hidrograf 2 | 3846.97 | 0.493 | 21,5 |
| Hidrograf 3 | 3846.97 | 0.493 | 28,0 |

Ket.: *K* dan *X* hasil hitung, 2013

Tabel 2 menunjukkan nilai koefisien *K* dan *X* yang dihasilkan dari ketiga pengamatan adalah sama. Hal ini dikarenakan pada metode Muskingum-Cunge dalam menentukan nilai *K* dan *X* didasarkan pada data hidrograf bagian hulu dan data geometri penggalan sungai yang ditinjau sehingga memudahkan dalam menentukan nilai koefisiennya.

Kalibrasi Sensor Tinggi Air

Sensor yang dipasang pada prototype saluran dihubungkan dengan dua tipe yaitu tipe *vertical floating* dan tipe tuas. Hasil kalibrasi dengan *vertical floating* menunjukkan nilai korelasi yang lebih baik ($R^2 = 0.916$). Kelemahan dari *vertical floating* pada system prototype adalah sangat sensitive terhadap getaran sehingga untuk kondisi dengan getaran dan tekanan arus yang besar sering memberikan data pencilan (lompat naik atau memberikan nilai negative).

Akurasi Pengiriman Data Hidrograf

Penerapan model sistem peringatan dini dalam pengiriman data hidrograf dilakukan dengan menguji kemampuan system mengirim data melalui provider GSM pengirim dan penerima yang sama dan provider yang berbeda antara pengirim dan penerima untuk melihat nilai penundaan informasi yang dikirimkan.

Hasil pengujian sistem peringatan dini yang dikirim dari provider Tsel dan diterima oleh Tsel dan XL diuji masing-masing 5 set data. Waktu delay atau penundaan pengiriman data hidrograf dari pengirim (Telkomsel) ke penerima pada dua provider GSM menunjukkan nilai rata-rata waktu tunda 9 detik untuk pengiriman dari Telkomsel ke Telkomsel (Tsel-Tsel) sedangkan untuk pengiriman dari Telkomsel ke XL (Indosat) memberikan angka waktu delay 18,96 detik.

Nilai waktu delay ini dipengaruhi oleh 2 faktor utama yakni:

1. Perbedaan provider pengirim dan penerima untuk (Tsel ke Tsel dan Tsel ke XL)
2. Nilai kekuatan signal jaringan GSM yang dimiliki oleh pengirim dan penerima. Untuk kasus pengirim dan penerima pada penelitian ini signal berada pada kondisi medium (band 2 pada skala 4)

Meskipun terjadi waktu tunda (delay time) pada kondisi perbedaan provider dan dengan derajat signal yang medium, namun waktu delay masih dibawah satu menit. Kalau sistem pengiriman hidrograf ini diterapkan pada das kecil seperti pada Sub-DAS Ta'deang dengan elapse time (interval waktu puncak hidrograf hulu dan hidrograf hilir) rata-rata sebesar 1 jam, maka nilai waktu tunda ini sangat pendek atau secara relatif adalah $9/3600 = 0.0025$ dan $18.94/3600 = 0.005277778$.

Data ini menggambarkan bahwa sistem pengiriman data hidrograf dengan sistem SMS langsung dari hasil pengukuran langsung oleh sensor dapat mengirimkan informasi peluang kejadian banjir di daerah hulu.

Meskipun demikian bentuk pemasangan sensor di sungai atau pada kondisi lapangan harus diatur sehingga sensor pada type *vertical floating* dapat bekerja dengan penambahan pipa pengaman sensor dan *floating* yang pada prototipe belum dipasang karena dapat mengganggu aliran air pada saluran prototipe.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengembangan sistem peringatan dini bencana banjir dengan penelusuran Muskingum-Cunge melalui prototipe saluran, maka dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Prototipe sistem peringatan dini bencana banjir dapat dibuat dengan metode pengukuran ketinggian air otomatis sebagai suatu hidrograf yang dapat dikirim ke penerima (pengelola DAS) untuk penentu kebijakan.
2. Jaringan GSM yang diuji dengan dua provider pada derajat signal medium masih memberikan tingkat penundaan waktu yang relatif singkat dibandingkan dengan waktu puncak hidrograf hulu dan hilir di DAS kecil (sub-DAS Ta'deang)
3. Sistem peringatan dini dapat dikembangkan untuk skala aliran air yang real seperti sungai besar atau DAS besar.

DAFTAR PUSTAKA

Achmad, Mahmud, A. Munir dan Suhardi, (2012). Analisis Hidrologi dan Sedimentasi selama Banjir di DAS Mamasa. Proceeding Seminar Nasional Perhimpunan Ahli Teknik Pertanian (PERTETA) 13-14 Juli 2012. Denpasar.

- Agus, Indra dan Hadihardaja, IK., (2011). Perbandingan Hidrograf Satuan Teoritis Terhadap Hidrograf Satuan Observasi DAS Ciliwung Hulu. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 18 No. 1 April 2011, hal 55 – 69.
- Kaltenbacher, J., (2007). *Numerical Simulation of Mechatronic Sensors and Actuators*. Springer-Verlag, Berlin
- Koch, Melvin V., Kurt M. Van den Bussche, and Ray W. Chrisman, (2007). *Micro Instrumentation for High Throughput Experimentation and Process Intensification – a Tool for PAT*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Kodoatie, R.J., Sugianto, (2002). *Banjir: Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Maidment, RD. (1989). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill. New York
- Szymkiewicz, R., (2010). *Numerical Modeling in Open Channel Hydraulics*. Springer Science, New York.
- Viessmann, W., Lewis, GL., and Knapp, JW., (1989), *Introduction to Hydrology*. Harper Collins Pub., New York.

