ISBN: 978-602-98569-1-0

ALAT DETEKSI DINI BAHAYA BANJIR DENGAN PENYAMPAIAN INFORMASI TINGGI MUKA AIR MENGGUNAKAN DATA LOGGER BERBASIS GSM GATEWAY

M. Andang Novianta
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri,
IST AKPRIND Yogyakarta

ABSTRAK

Teknologi komunikasi saat ini sudah sangat maju berkembang dengan adanya konsep intranet, internet maupun SMS hal ini memungkinkan dilakukan pemantauan secara jarak jauh terhadap perubahan tinggi muka air sebagai gejala bahaya banjir pada suatu area tertentu. Kelebihan dari sistem ini adalah keleluasaan untuk memantau kondisi kerawanan bencana banjir dimanapun dan kapanpun.

Penelitian bertujuan untuk mengatasi masalah yang muncul dengan merancang sistem pemantauan perubahan tinggi muka air berbasis jaringan komunikasi selular (GSM) sebagai backbone komunikasi paket-paket data dari stasiun pantau yang ada. Dengan memanfaatABSTRAKan jaringan GSM melalui Base Station Transmitter akan terbangun pemantauan jarak jauh parameter gejala bahaya banjir secara realtime.

Berdasarkan kalibrasi alat penelitian dengan alat ukur konvensional berupa mistar ukur didapat kesalahan rata-rata 0,3 cm serta perhitungan jika disandarkan dengan tingkat ketelitian 1 cm, 5 cm, 10 cm maka diperoleh nilai kesalahan 30 %, 6 %, 3 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem dari alat serta sensor menunjukkan unjuk kerja sistem yang baik.

Kata-kata kunci: *tinggi muka air, banjir, jaringan GSM*

PENDAHULUAN

Di Indonesia sering terjadi bencana banjir yang banyak menimbulkan korban jiwa serta harta benda. Hal ini menjadi pemikiran tersendiri mengenai tindakan kewaspadaan terhadap bencana banjir tersebut bagi masyarakat pada umumnya serta pihak-pihak yang bertanggung jawab secara langsung terhadap kesejahteraan penduduk rawan bencana. Teknologi jaringan komunikasi sangat memungkinkan perancangan sebuah sistem pemantauan tinggi muka air sebagai salah satu parameter gejala banjir dengan hasil pemantauan yang didapat pada saat kapanpun dan dimanapun serta oleh siapapun baik secara bergerak maupun tetap, dalam rangka lebih meningkatkan kewapadaan terhadap bencana banjir.

Meskipun saat ini sistem pemantauan parameter bencana banjir masih dalam tahap awal pengembangan dan para peneliti masih menggali lagi setiap aspek yang berkaitan, sistem pemantauan yang menggunakan jaringan GSM akan berkembang cukup pesat serta bervariasi untuk segala aspek kehidupan dalam waktu dekat (Bruninga, 2006). Hal ini didukung dengan semakin banyaknya jaringan komunikasi *wireless* seperti jaringan GSM di Indonesia dari berbagai macam *provider* serta tersebarnya BST (*Base Station Transmitter*) yang mendukung komunikasi GSM tersebut.

Saat ini penelitian mengenai pemantauan tinggi muka air sebagai salah satu parameter bencana banjir yang efektif menggunakan jaringan GSM masih sangat sedikit. Untuk itu penelitian mengenai sistem ini sangat penting mengingat kebanyakan penelitian yang ada adalah sistem pemantauan secara umum seperti posisi dan cuaca.

Permasalahan pada penelitian ini adalah merancang suatu sistem pemantauan parameter bencana alam khususnya banjir dengan unit pemantau tinggi muka air yang menggunakan modem GSM, jaringan komunikasi selular GSM ini merupakan media yang sangat efektif dan efisien.

Untuk membatasi permasalahan yang ada maka dibuat suatu perumusan masalah yaitu merancang dan membuat suatu alat pemantau tinggi muka air yang menggunakan jaringan

komunikasi GSM, untuk menerapkannya diperlukan metode pengujian sistem dengan media komunikasi selular.

Penelitian ini bertujuan mengkaji penerapan sistem pemantauan tinggi muka air sebagai salah satu parameter gejala banjir untuk meningkatkan kewaspadaan masyarakat dalam menghadapi bencana bahaya banjir. Dengan menggunakan jaringan GSM, pemantauan dapat dilakukan dengan mudah, kapanpun dan dimanapun oleh semua pengguna yang menginginkan informasi mengenai status kerawanan bencana banjir pada area tertentu.

Manfaat dari hasil penelitian ini diharapkan bagi masyarakat awam yang tidak mengenal sama sekali tentang teknologi pengukuran nilai perubahan tinggi muka air berbasis jaringan GSM, akan sangat memahami sebuah sistem yang berbasis teknologi tepat guna hasil perancangan terkait yang mampu mewujudkan keinginan masyarakat dalam rangka menjamin ketenteraman dalam kehidupan sehari-hari. Keberadaan teknologi tepat guna untuk sistem peringatan dini dalam kelompok ini sebatas dimanfaatkan dan didayagunakan seperti tujuan semula yaitu sebagai alat peringatan dini terhadap bencana, tidak lebih dari itu. Bagi pelajar dan peneliti dapat memperbaiki kinerja dan mengurangi kelemahan dari sistem yang sudah ada dan menjadi titik awal terbukanya gerbang pemikiran yang luas dengan dilakukan inovasi terus menerus dan *up to date* terhadap situasi dan kondisi zaman yang ada. Sedangkan untuk pemerintah pemerhati teknologi, untuk mewujudkannya menjadi realita melibatkan kelompok-kelompok yang harus sinergis. Peran pemerintah sangatlah diperlukan dalam rangka menjembatani antara kebutuhan teknologi tepat guna oleh masyarakat awam dan kemampuan serta keahlian dari kelompok cendekia dalam menciptakan teknologi.

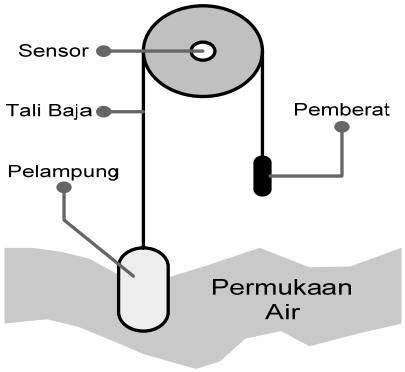
TINJAUAN PUSTAKA

Daerah Aliran Sungai (DAS) yaitu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung dari gunung yang menampung air hujan dan menyimpan kemudian disalurkan ke laut melalui sungai utama.DAS yaitu suatu sistem dalam bidang hidrologi, sehingga terdapat sistem masukan serta sistem keluaran. Salah satu keluran dari sistem DAS adalah debit aliran sungai. Debit aliran sungai merupakan integrator dari suatu DAS, hal ini mengartikan bahwa debit aliran sungai adalah penyimpan informasi tentang ciri dan kondisi DAS tersebut. (Asdak, 2002)

Terdapat bermacam-macam teknik pengukuran tinggi muka air berdasarkan media penginderaan, akan tetapi yang perlu diperhatikan yaitu pembacaan nilai oleh sensor yang dapat dipertanggung jawabkan keakuratannya.

Pada program penelitian ini akan dipakai teknik pengukuran tinggi muka air dengan teknik menyentuh air dengan model pelampung. Pada teknik ini sensor tidak berinteraksi secara langsung dengan permukaan yang akan diukur tingginya, akan tetapi dengan media perantara lain yaitu berupa pelampung yang mengapung pada permukaan air yang akan diukur dan dihubungkan sebuah pemberat melalui tali baja lentur. Sensor yang digunakan pada model ini bisa menggunakan jenis *rotary encoder* maupun jenis resistansi seperti *wire wound* seperti yang dikembangkan pada program penelitian ini. Pelampung berfungsi untuk memantau setiap variasi tinggi muka air dan pemberat digunakan untuk mempertahankan tegangan tali agar setiap variasi permukaan air bisa dipantau oleh sensor. Setiap perubahan penurunan dan kenaikan permukaan air akan diikuti oleh perubahan sudut putar dari sensor dengan kalkulasi sederhana berdasarkan nilai datum DAS setempat dapat diketahui tinggi muka air DAS tersebut.

Model pengukuran seperti ini banyak diterapkan karena bisa memantau variasi tinggi muka air secara terperinci dan juga sensor terhindar dari adanya rendaman sedimentasi lumpur, tetapi kelemahannya yaitu operasional pemasangan yang relatif lebih sulit dari metode yang lain, karena selain harus dilakukan kalibrasi juga perlu diperhatikan faktor dari gesekan (*friction*) antara lingkaran sensor (*pulley*) dengan tali peregang akibat frekuensi perubahan tinggi muka air yang cepat.



Gambar 1. Model Pengukuran Teknik Pelampung

Terdapat kajian-kajian terkait yang telah dilaksanakan oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan hasil hipotesis yang berbeda-beda. Pada dasarnya adanya diversifikasi penelitian dalam satu kaitan masalah merupakan sebuah mata rantai yang bisa menentukan kesempurnaan hasil sehingga terdapat wujud berupa sistem yang nyata dan bisa langsung diterapkan pada masyarakat.

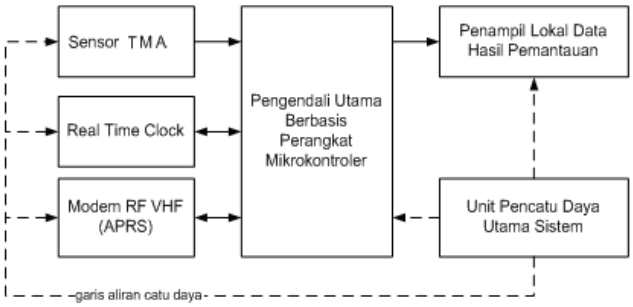
- **Sri Harto, (2000)**
  Hidrograf bisa digambarkan sebagai penyajian grafis antara salah satu unsur aliran terhadap satuan waktu. Hidrograf akan menunjukkan suatu tanggapan secara menyeluruh dari DAS terhadap suatu masukan yang tertentu. Sesuai dengan sifat serta perilaku DAS yang bersangkutan, hidrograf aliran akan selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu adanya masukan. Bentuk hidrograf pada umumnya sangat dipengaruhi oleh sifat hujan yang terjadi, akan tetapi juga dapat dipengaruhi oleh sifat DAS yang lain.
- **Hari Siswoyo, (2003)**
  DAS adalah suatu sistem hidrologi, sehingga terdapat sistem masukan serta sistem keluaran. Salah satu keluran dari sistem DAS yaitu debit aliran sungai. Debit aliran sungai adalah integrator dari suatu DAS. Hal ini mempunyai arti bahwa debit aliran sungai merupakan penyimpan informasi tentang ciri dan kondisi DAS tersebut. Debit aliran sungai ini dapat dijadikan petunjuk mampu tidaknya suatu sistem DAS dapat berperan dalam mengatur proses, khusus dari segi sistem hidrologi. Selain itu, dari sistem keluaran DAS tersebut dapat dievaluasi kondisi DAS yang bersangkutan. Dengan demikian masukan ke dalam suatu DAS dapat dioptimalkan menjadi suatu keluaran yang baik dengan mengatur kondisi biofisik yang ada pada DAS tersebut. Adanya suatu perubahan penggunaan lahan pada DAS akan mengakibatkan terjadinya perubahan efektifitas perlakuan dari DAS. Informasi debit aliran sungai akan memberikan hasil yang lebih bermanfaat apabila disajikan dalam bentuk hidrograf. Namun demikian tidak semua DAS mempunyai data pengukuran debit air, hanya sungai-sungai yang memiliki DAS yang telah dikembangkan akan mempunyai data pengukuran debit yang cukup relevan. Melalui model suatu hidrograf satuan sintetis, optimasi penggunaan lahan pada suatu DAS akan dapat dilakukan dengan merubah pola hidrografnya. Adapun tujuan penelitian yang telah dilakukan oleh Hari Siswoyo adalah memberikan wacana tentang model hidrograf satuan sintetis selain untuk keperluan prediksi debit banjir atau aliran di sungai dapat juga sebagai dasar perencanaan bangunan air, dan memberikan wacana gambaran awal terhadap penggunaan suatu metode alternatif penggunaan lahan sebagai bagian kegiatan pengelolaan DAS.
- **M. Luthful hakim, O. Haridjaja, Sudarsono, dan G. Irianto (2008)**
  Penelitian mengenai pengaruh tekstur tanah terhadap suatu karakteristik unit hidrograf dan model pendugaan banjir pada daerah aliran sungai (DAS) di daerah Kalimantan Timur dilakukan karena intensitas dan luasan daerah banjir semakin meningkat. Hasil dari analisis menunjukkan tekstur tanah berpengaruh terhadap debit puncak dan waktu saat menuju debit

ISBN: 978-602-98569-1-0

puncak, dimana tanah bertekstur lempung akan memiliki debit puncak yang lebih tinggi bila dibandingkan pada tanah bertekstur pasir dan liat, sedangkan untuk waktu menuju debit puncak dimana tanah bertekstur liat memiliki waktu menuju debit puncak yang lebih cepat dibandingkan dengan tanah bertekstur lempung dan bertekstur pasir. Pendugaan banjir (debit puncak dan waktu saat menuju debit puncak) berdasarkan karakteristik lahan serta geomorfologi DAS dapat mensimulasi debit puncak dan waktu menuju debit puncak dengan hasil tidak berbeda dengan pengukuran.

METODE PENELITIAN

Dalam rancangan sistem yang akan dilakukan merupakan disain *low cost* yang berorientasi pada disain sederhana tapi memiliki tingkat keakurasian tinggi (orde milimeter) yang hanya mengukur satu parameter saja yaitu nilai tinggi muka air. Adapun kesatuan sistem data logger tinggi muka air nampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Pemantau Tinggi Muka Air

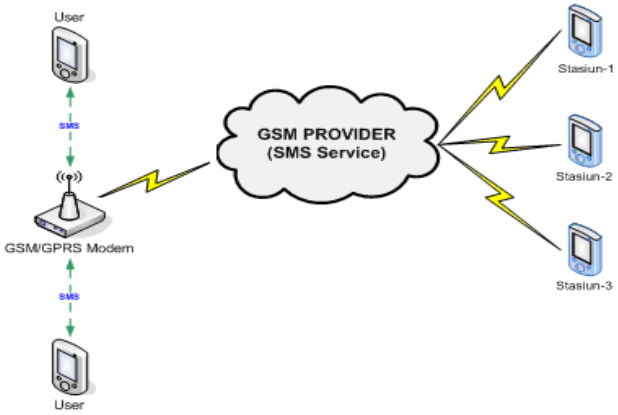
Adapun perancangan alat pemantau tinggi muka air memiliki spesifikasi rancangan adalah sebagai berikut:

a) Menggunakan sensor jenis *optical rotary encoder* 5-bit 360 derajat dengan satuan ukur cm dan rentang jarak pengukurannya adalah 0 mm – 65535 mm. Model sensor pemberat dan pelampung dengan keliling piringan 25cm, sehingga setiap perubahan muka air yang terukur akan selalu dideteksi oleh sensor.
b) Menggunakan penampil LCD 16x2.
c) Menggunakan pengendali berbasis mikrokontroler.
d) Menggunakan 3 buah tombol operasi: *Up-Down-Enter*.
e) Kapasitas memori penyimpanan 256 Kbyte.
f) Interval penyimpanan data minimal 1 menit dan maksimal 24 jam yang bisa diatur sesuai keinginan, semakin cepat interval waktu yang dipilih maka semakin cepat pula memori penyimpan akan terisi penuh dan sebaliknya.
g) Menggunakan piranti RTC (*Real Time Clock*) yang akurat dengan catu daya ganda, sehingga informasi waktu akan selalu terjaga.
h) Mampu berkomunikasi *serial* tak sinkron RS-232 dengan *baudrate* 19200 bps dengan format 8n1.
i) Menggunakan metode *powersave*, sehingga akan lebih menghemat daya agar *lifetime* baterai lebih lama.
j) Menggunakan catu daya baterai DC 3 volt jenis AA.

Adapun rancangan komunikasi GSM menggunakan layanan SMS *gateway* akan diperoleh kemudahan dalam melakukan pengiriman data secara jarak jauh yang murah dan cepat memanfaatkan fasilitas pesan singkat oleh *provider* GSM. Inisiatif pengendalian komunikasi data sepenuhnya dilakukan oleh pengendali utama terkait dengan permintaan (*request*) data hasil

ISBN: 978-602-98569-1-0

pengukuran oleh *logger* stasiun pantau. Data yang dikirimkan oleh stasiun pantau pada dasarnya berisi informasi waktu dan nilai ukur. Itulah kelebihan dari penggunaan layanan komunikasi data melalui SMS dibandingkan dengan komunikasi data via *voice call* yang harus kita buat sendiri sistem EDAC (*Error Detection And Correction*) yang cukup memakan *resource*.



Gambar 3. Konfigurasi GSM *Gateway*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Peralatan Unit Pemantau (*Logger*)



Gambar 4. Hasil Rancangan Unit Pemantau Tinggi Muka Air

Pengambilan data dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan perancangan agar dari karekteristik data yang dikumpulkan dapat diambil kesimpulan hasil beserta analisanya yang diharapkan dari hasil akhir dan analisa tersebut dapat menjadi bahan apabila perencanaan akan dilanjutkan. Pengambilan data dilakukan melalui serangkaian pengujian, yaitu pada proses pembuatannya dilakukan pengujian pada setiap bagian sistem, namun dalam pembahasan ini hanya disajikan pengujian dan pembahasan pada bagian yang menentukan kinerja sistem, kemudian pengujian dilakukan sebagai sistem yang bekerja keseluruhan.

- Pengamatan Elektronis
  Pengamatan pada sistem elektronis berguna untuk mengetahui karakteristik elektris sistem. Data hasil pengamatan diperoleh terutama dari sistem catu daya berupa nilai arus dan tegangan seperti nampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Arus dan Tegangan Catu Daya

No	Titik Pengukuran	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1	Pin Input IC 7805	13.5 V	75 mA
2	Pin Output IC 7805	5.6 V	60 mA
3	Pin VCC IC ATMega8535	4.8 V	25 mA
4	Pin VCC LCD 16x2	4.8 V	30 mA
5	Pin VCC Sensor *Wire-Wound*	4.7 V	0.5 mA

- Data Hasil Pengukuran

Tabel 2. Data Perbandingan Hasil Pengukuran

No. Uji	Penunjukkan Sensor	Penunjukkan Mistar Ukur	Error
1	25 cm	24.8 cm	0.2 cm
2	50 cm	50.4 cm	-0.4 cm
3	75 cm	75.3 cm	-0.3 cm
4	100 cm	99.6 cm	0.4 cm
5	125 cm	124.7 cm	0.3 cm
6	150 cm	150.2 cm	-0.2 cm
7	175 cm	175.3 cm	-0.3 cm
8	200 cm	199.5 cm	0.5 cm
9	225 cm	225.2 cm	-0.2 cm
10	250 cm	249.6 cm	0.4 cm

Dari hasil pengukuran di atas, dapat diperoleh data sebagai berikut:

$$Error\ rata-rata = \frac{\sum error}{n-pengukuran} = \frac{3}{10} = 0.3\,cm$$

Jika disandarkan dengan tingkat ketelitian **1 cm** maka diperoleh nilai kesalahan:

$$persen\ kesalahan = \frac{rerata\ error}{akurasi} \times 100\% = \frac{0.3\,cm}{1\,cm} \times 100\% = 30\%$$

Jika disandarkan dengan tingkat ketelitian **5 cm** maka diperoleh nilai kesalahan:

$$persen\ kesalahan = \frac{rerata\ error}{akurasi} \times 100\% = \frac{0.3\,cm}{5\,cm} \times 100\% = 6\%$$

Jika disandarkan dengan tingkat ketelitian **10 cm** maka diperoleh nilai kesalahan:

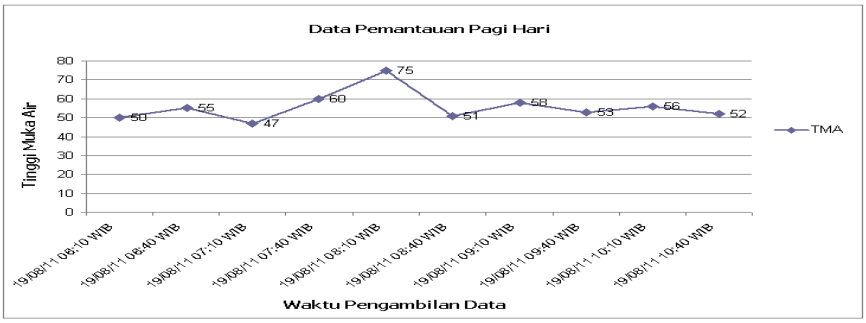
$$persen\ kesalahan = \frac{rerata\ error}{akurasi} \times 100\% = \frac{0.3\,cm}{10\,cm} \times 100\% = 3\%$$



Gambar 5. Grafik Nilai Error Tiap Pengukuran

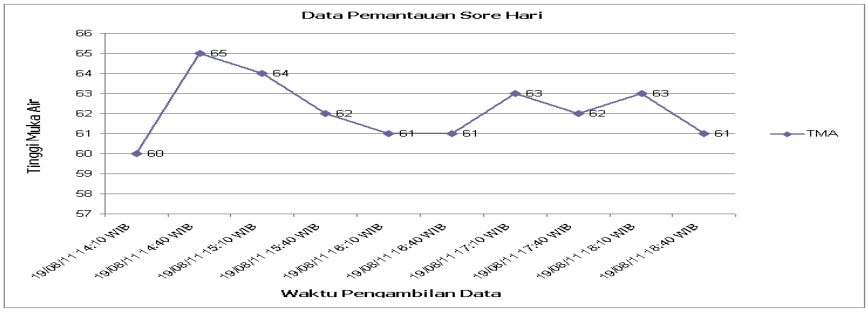
Dari data perhitungan nilai kesalahan di atas dapat dijadikan sebagai bahan masukan dalam mendisain ulang sistem pengideraan dan juga penyesuaian dengan alat ukur tinggi muka air konvensional yang sudah sering digunakan yaitu *pail scale* yang memiliki tingkat akurasi berbeda-beda, misal 1 cm atau 10 cm.

- Data Hasil Pengamatan
  Pengamatan dilakukan pada satu hari dengan pengambilan data pada pagi, sore dan malam hari sebanyak 10 kali dengan durasi pengambilan setiap 30 menit.



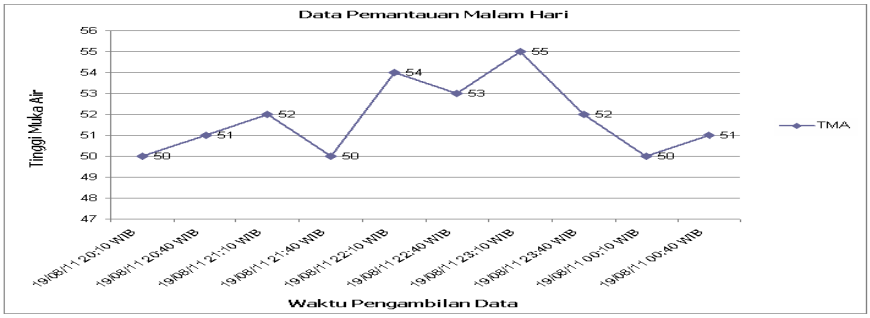
Gambar 6. Grafik Data Pemantauan Pagi Hari

Perhitungan statistik berdasarkan data diatas didapatkan bahwa untuk sensor TMA dalam mendeteksi tinggi muka air diwaktu pagi hari adalah rata-rata = 55.7 cm dan standar deviasi sebesar 7.8067 dan varians sebesar 60.9455.



Gambar 7. Grafik Data Pemantauan Sore Hari

Perhitungan statistik berdasarkan data diatas didapatkan bahwa untuk sensor TMA dalam mendeteksi tinggi muka air diwaktu pagi hari adalah rata-rata = 62.2 cm dan standar deviasi sebesar 1.5748 dan varians sebesar 2.48.



Gambar 8. Grafik Data Pemantauan Malam Hari

Perhitungan statistik berdasarkan data diatas didapatkan bahwa untuk sensor TMA dalam mendeteksi tinggi muka air diwaktu pagi hari adalah rata-rata = 51.8 cm dan standar deviasi sebesar 1.7738 dan varians sebesar 3.1466.

Hasil Perancangan SMS *Gateway*

Pembuatan SMS *Gateway* menggunakan perangkat lunak Borland Delphi 7 dengan antarmuka perangkat keras berupa modem GMS/GPRS Wavecom Fastrack. Proses *data logging* dilakukan pada interval tertentu (minimal 1 menit) menggunakan layanan pesan singkat (SMS) yang mengandung informasi lengkap untuk setiap paket pengiriman pesan. Isi pesan berbentuk format terenkripsi sehingga hanya bisa dibaca oleh *software* SMS *Gateway* yang memang ditujukan khusus untuk membaca data pesan yang diterima, hal ini untuk menjamin keamanan data agar tidak ada celah untuk menyadap maupun memanipulasi data pesan yang dikirimkan. Pada Gambar 9 ditunjukan tampilan hasil layanan informasi tinggi muka air pada beberapa *level* dengan statusnya. Penentuan status kerawanan bencana berdasarkan kondisi lokasi setempat sesuai karakteristik sungainya. Berbeda lokasi tentu berbeda penentuan *level* status kerawanannya. Pada rancangan ini, untuk status AMAN pada *level* ≤ 200 cm, untuk status WASPADA pada *level* > 200 cm hingga ≤ 250 cm, untuk status SIAGA pada *level* > 250 cm hingga ≤ 300 cm, untuk status AWAS pada *level* > 300. Selain menerima alarm informasi status kerawanan banjir, sistem ini juga dapat memberikan informasi kapanpun kepada masyarakat luas dengan layanan pesan singkat (SMS).



Gambar 9. Tampilan Pesan Singkat Informasi Tinggi Muka Air

KESIMPULAN

Dalam perancangan dan pembuatan perangkat pemantau perubahan tinggi muka air sebagai salah satu parameter gejala bahaya banjir yang sudah dilakukan ini diperoleh beberapa kesimpulan yang dapat digunakan sebagai pertimbangan pengembangannya ke depan, yaitu antara lain:

ISBN: 978-602-98569-1-0

a) Pembuatan alat pemantau perubahan tinggi muka air berbasis GSM dapat digunakan untuk mendapatkan data-data hasil pemantauan dari waktu ke waktu terhadap kondisi muka air suatu DAS yang diamati.
b) Data hasil pengukuran dapat digunakan untuk peringatan dini kepada masyarakat akan kecenderungan terjadinya bahaya banjir.
c) Data-data hasil pengukuran perubahan tinggi muka air yang sudah diperoleh sebelumnya dapat digunakan untuk menggambarkan pola perubahan tinggi muka air, sehingga dapat dilakukan prediksi dan perencanaan di waktu mendatang dalam rangka optimalisasi penggunaan lahan tempat tinggal masyarakat dan juga mengantisipasi adanya korban dari ancaman bencana banjir.
d) Nilai resolusi sensor pada sudut pengujian yang sama akan ditentukan oleh keliling cakram sensor. Semakin besar keliling cakram sensor maka semakin rendah resolusi sensornya dan sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

Asdak C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Bruninga B. (2006**).** *APRS: Automatic Position Reporting System, Author of APRS.* http://web.usna.navy.mil/~bruninga/aprs.html. Diakses tanggal 15 September 2009

Hari Siswoyo. (2003). *Makalah Pengantar Falsafah Sains*. Malang: Universitas Brawijaya. http://rudyct.com/PPS702-ipb/06223/hari_siswoyo.htm Diakses tanggal 25 September 2009

M. Luthful hakim, O. Haridjaja, Sudarsono, dan G. Irianto. (2008). *Pengaruh Tekstur Tanah Terhadap Karakteristik Unit Hidrograf dan Model Pendugaan Banjir*. (Studi Kasus di DAS Separi, Kutai, Kartanegara). Kalimantan Timur.

Montarcih L. (2007). *Hidrograf Satuan Sintesis Untuk DAS Di Indonesia*. (Penelitian BPP Fakultas Teknik). Malang: Universitas Brawijaya http://bppft.brawijaya.ac.id/?hlm=bpenelitian&view=full&thnid=2007&pid=1199415768 Diakses tanggal 25 September 2009

Purwanto, E. (1992). *Pemanfaatan dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai Dengan Menggunakan Parameter Hidrologi*. (Majalah Kehutanan Indonesia, Edisi No. 10 th 1991/1992, Diterbitkan oleh Departemen Kuhutanan RI, STT. No. 1162/SK/DITJEN PPG/SST/1987). Jakarta: Departemen Kehutanan RI.

Sri Harto Br. (2000). *Hidrologi (Teori, Masalah, dan Penyelesaian)*. Yogyakarta: Nafiri Offset.