

Rancang Bangun Model Sistem Pemantauan Tinggi Muka Air Sungai Menggunakan Telemetry Radio

S. Ratna Sulistiyanti¹, Warsito², Andi Darmawan³

1. Dosen di Jurusan Teknik Elektro, FT-Universitas Lampung.
2. Dosen di Jurusan Fisika, FMIPA-Universitas Lampung.
3. Staf Pengajar di Jurusan Teknik Informatika, LPK-Griyacom, Bandar Lampung.
winantya@yahoo.com warsito@unila.ac.id

Abstrak--Sistem peringatan dini banjir digunakan untuk mencegah hal buruk yang akan terjadi. Unsur utama sistem peringatan dini ini adalah pengukuran tinggi muka air sungai, dengan menggunakan sensor jarak gelombang ultrasonik. Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu instrumen yang difungsikan untuk mengukur tinggi muka air sungai dengan ultrasonik dan mengirimkan data tinggi muka air sungai ke lokasi pusat data dengan frekuensi radio. Instrumen ini dirancang menggunakan pengendalimikro sebagai pemacu sensor dan penghitung waktu lintas gelombang ultrasonik, hasil pengukuran tersebut dimodulasi FSK lalu dikirimkan melalui gelombang radio pada frekuensi 88—108 MHz. Data yang diterima pada penerima FM dan didemodulasikan FSK selanjutnya dikirim ke komputer untuk ditampilkan dan disimpan. Hasilnya pada jarak 100 m sensor mampu mengukur tinggi muka air dengan skala perubahan terkecil mencapai satu milimeter, nilai kesalahan pengukuran pada air jernih sebesar 0,61% dan deviasi pada air keruh sebesar 2,29%. Sedangkan pengiriman data hasil pengukuran tinggi muka air dimodulasikan FSK dengan deviasi frekuensi Modulator FSK sebesar 5,98% pada pengiriman logika tinggi dan 6,22% pada logika rendah serta kestabilan frekuensi modulator yang baik.

Kata kunci: sistem peringatan dini banjir, sensor ultrasonik, telemetry radio.

Abstract--*The early warning system of flood is used to prevent and minimize a damage to be happened. The primary element for the early warning system is water level of river, using distance measurement based on ultrasonic wave. The objective of this research is to make an instrument that functioned to measure water level of river and send the data to data center using radio frequency. This instrument is designed using the microcontroller as a trigger*

Naskah ini diterima pada tanggal 24 September 2007, direvisi pada tanggal 5 Nopember 2007 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Desember 2007

sensor and time of flight numerator of ultrasonic wave, result of the measurement is modulated using FSK then sent using the radio wave at frequency 88—108 MHz. Data which have been received then sent to computer in order to be presented and recorded. For 100 m from sensor, water level can be measured with one millimeter scale, with 0.61% deviation for clear water. For dirty water, the deviation is 2.29%. Water level of river that modulated at modulator FSK for high logic is 5.98%, and for low logic is 6.22%. The stability of modulator frequency for all logics is good.

Keywords: *early warning system of floods, sensor ultrasonic, radio telemetry.*

A. Pendahuluan

Sistem peringatan dini digunakan untuk mencegah suatu hal buruk yang akan terjadi dengan memberikan peringatan sedini mungkin kepada masyarakat dan instansi terkait, agar bisa menghindari atau meminimalkan akibat yang ditimbulkannya. Sistem peringatan dini banjir ditujukan untuk memberikan perkiraan atau peramalan waktu tiba banjir, sehingga kerugian dapat diminimalkan [1].

Sistem peringatan dini banjir terdiri dari proses pendeteksian curah hujan dan ketinggian air pada titik-titik yang ditentukan. Data curah hujan dapat diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika. Sedangkan data tinggi muka air sungai diperoleh melalui pengukuran secara terus-menerus. Untuk memantau tinggi muka air sungai pada suatu titik, saat ini masih menggunakan sumur pengamatan [2]. Penggunaan sumur pengamatan untuk keperluan pemantauan tinggi muka air

sungai secara menyeluruh di setiap sungai akan menelan biaya yang besar. Hal ini dapat diminimalisasikan dengan penggunaan metode pengukuran yang lebih murah dan mudah penempatannya.

Pengukuran tinggi muka air dapat dilakukan dengan mengetahui waktu lintas dari pancaran hingga penerimaan pantulan ultrasonik, karena hubungan antara waktu lintas ultrasonik dan jaraknya linear maka jarak tersebut dapat digunakan untuk mengetahui tinggi muka air. Penggunaan ultrasonik untuk mengetahui tinggi muka air dapat dilakukan dengan penempatan pemancar dan penerima ultrasonik pada suatu tempat di atas permukaan air sehingga pancaran ultrasonik merambat di udara dan dipantulkan oleh permukaan air tersebut, atau penempatan pemancar dan penerima tepat berada pada permukaan air dan merambat melalui air sehingga dipantulkan oleh dasar tempat air [3].

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran akan dikirimkan ke pusat pengolah data di suatu tempat yang jauh dari titik pengamatan. Idealnya, sistem peringatan dini banjir menggunakan sistem transmisi yang dilakukan melalui satelit, sebab ketika pemadaman sumber listrik terjadi yang biasanya pada saat hujan deras, data tinggi muka air sungai tidak dapat dikirim melalui telepon yang berbantuan listrik. Kendala ini dapat diantisipasi dengan memanfaatkan sistem radio dengan frekuensi tertentu, atau yang dikenal dengan **telemetry** [1].

Pengiriman data yang dibutuhkan untuk peringatan dini banjir dilakukan dengan gelombang radio. Data hasil pengukuran yang berupa digit biner dapat dikirimkan melalui gelombang radio yang sebelumnya disandikan menjadi dua gelombang audio yang berbeda frekuensi. Proses penyandian ini dilakukan oleh suatu *frequency shift keying (FSK) modulator* yang dapat dibangun dengan suatu multivibrator yang

dioperasikan pada keadaan tidak stabil. Setelah dikirim oleh pemancar bermodulasi frekuensi, data dapat diterima oleh penerima modulasi frekuensi di lokasi yang jauh. Agar data dapat digunakan untuk proses selanjutnya, maka data itu didemodulasikan dan direkam di penerima.

Penelitian ini dilakukan untuk:

- 1) memberikan contoh metode untuk sistem akuisisi data tinggi muka air sungai sebagai salah satu sistem peringatan dini banjir, dan
- 2) mengembangkan sistem komunikasi radio untuk kebutuhan transmisi data biner hasil pengukuran.

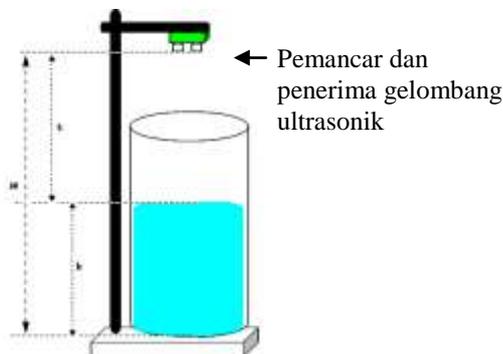
Model sistem pemantauan tinggi muka air sungai bekerja untuk perubahan tinggi muka air mencapai 2,5 meter dan pengiriman data yang dilakukan oleh pemancar modulasi frekuensi pada frekuensi 88—106 MHz dan dapat diterima dengan baik pada jarak 100 meter. Pada pengujiannya digunakan pemancar dan penerima modulasi frekuensi yang dapat diperoleh secara luas di pasar.

B. Pengukuran Tinggi Muka Air Sungai Dengan Sensor Ultrasonik

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang yang memiliki jangkauan frekuensi di atas frekuensi gelombang suara, yaitu lebih besar dari 20 kHz. Ketika gelombang ultrasonik mengenai suatu objek, sebagian dipantulkan, sebagian diteruskan, sebagian lagi diserap [4]. Suatu gelombang ultrasonik yang dikirimkan oleh suatu transduser ultrasonik (pengirim) melalui udara dan dipantulkan oleh permukaan air kemudian diterima oleh transduser ultrasonik (penerima) seperti tampak pada Gambar 1.

Nilai yang diukur adalah waktu lintas (*time of flight*), jika kecepatan gelombang suara yang diketahui maka metode ini

memungkinkan penentuan jarak waktu lintas (t) dikonversi menjadi jarak (S).



Gambar 1. Pengukuran tinggi muka sungai dengan sensor ultrasonik.

Pengukuran dilakukan berdasar referensi waktu menggunakan metode pulsa yang mengukur jeda waktu antara pengiriman dan penerimaan sinyal. Persamaan yang digunakan yaitu:

$$S = \frac{V_{\text{suara}}}{2} \times t \quad (1)$$

dengan

S = jarak terukur (meter)

V_{suara} = kecepatan rambat suara pada udara (m/s)

t = selisih waktu (s)

Dalam hal ini V_{suara} adalah kecepatan dari gelombang suara 1.460 m/s di dalam air dan 331 m/s di udara. Persamaan (1) berlaku jika jarak antara transduser pengirim dan penerimanya jauh lebih kecil dari jarak terukur [3].

Transduser yang digunakan sesuai dengan frekuensi yang dipilih. Frekuensi 30—30 kHz, pengirim dan penerima dapat berupa mikrofon dan *loudspeaker*, tetapi untuk frekuensi 30—300 kHz digunakan bahan kristal dengan sifat *piezoelektrik*. Bahan Piezoelektrik merupakan bahan yang akan terpolarisasi elektrik (mengakibatkan terjadinya beda potensial) antara kedua sisi bahan tersebut jika dikenai tekanan, dan sebaliknya [4].

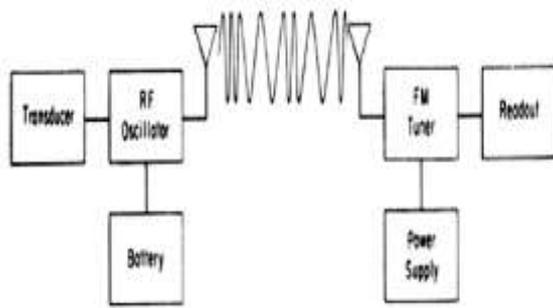
Modulasi Digital menggunakan FSK (*Frequency Shift Keying*)

Kebutuhan umum untuk telemetri dan bentuk lain dari komunikasi data adalah transmisi dan pengkodean data biner sebagai dua atau lebih frekuensi diskret. Fungsi FSK adalah mengubah data biner menjadi isyarat dengan frekuensi tertentu untuk merepresentasikan biner 1 dan frekuensi yang lain untuk representasi biner 0. FSK merupakan sistem modulasi digital yang relatif sederhana. FSK biner adalah sebuah bentuk modulasi sudut dengan *envelope* konstan yang mirip dengan FM konvensional, kecuali bahwa dalam modulasi FSK, sinyal pemodulasi berupa aliran pulsa biner yang bervariasi diantara dua level tegangan diskret sehingga berbeda dengan bentuk perubahan yang kontinyu pada gelombang analog.

Telemetri Radio

Telemetri adalah suatu proses yang digunakan untuk mengukur atau mencatat suatu besaran fisik pada suatu lokasi yang letaknya jauh dari pusat pengolahan hasil pengukuran. Telemetri radio mempunyai beberapa keunggulan satu diantaranya adalah mempunyai probabilitas kesalahan yang relatif kecil, peralatan pemancar yang ringan dan jangkauan pentransmision yang jauh dibandingkan dengan telemetri mekanik dan telemetri listrik [5]. Struktur umum telemetri radio digambarkan pada Gambar 2 berikut ini.

Telemetri radio secara sederhana terdiri atas transduser dan osilator RF (*Radio Frequency*/frekuensi radio) dengan catu daya dari batere, isyarat tegangan dari transducer akan memodulasi osilator kemudian dialirkan ke antena. Suatu penerima menangkap isyarat FM (*Frequency Modulation*) dan mendemodulasi-kan isyarat yang akan dilewatkan ke *readout*.



Gambar 2. Struktur Umum Telemetri Radio. [7]

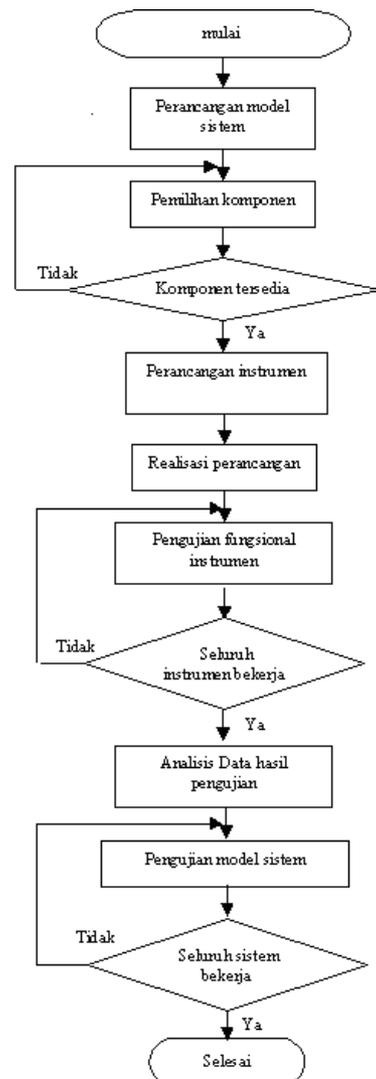
Modulasi frekuensi adalah suatu bentuk modulasi sudut, karena frekuensi sesaat gelombang sinus pembawa dipengaruhi untuk menyimpang dari frekuensi pembawa sehingga fasenya bergeser sebanding dengan himpunan nilai gelombang pemodulasi [6]. Keuntungan sistem modulasi FM antara lain adalah derau yang rendah dan tidak ada perubahan dari bentuk gelombang yang disebabkan oleh perubahan amplitude akibat *fading* [5].

C. Metode Penelitian

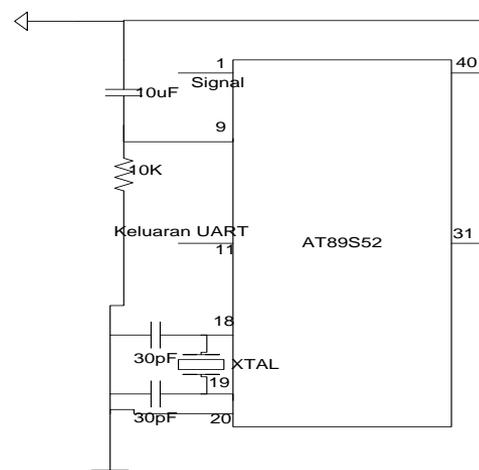
Langkah-langkah penelitian dapat digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.

Desain Instrumen Pengukuran Tinggi Muka Air Sungai

Desain ini menggunakan modul pengukur jarak benda yang terhubung dengan pengendalimikro AT89S52. Hasil pengukuran tinggi muka air didapat dari keluaran pengendalimikro AT89S52 dan dihubungkan dengan *modulator FSK*. Hasil modulasi data hasil pengukuran ditransmisikan melalui Pemancar FM. Diagram skematik Instrumen Pengukuran Tinggi Muka Air dapat dilihat pada Gambar 4.

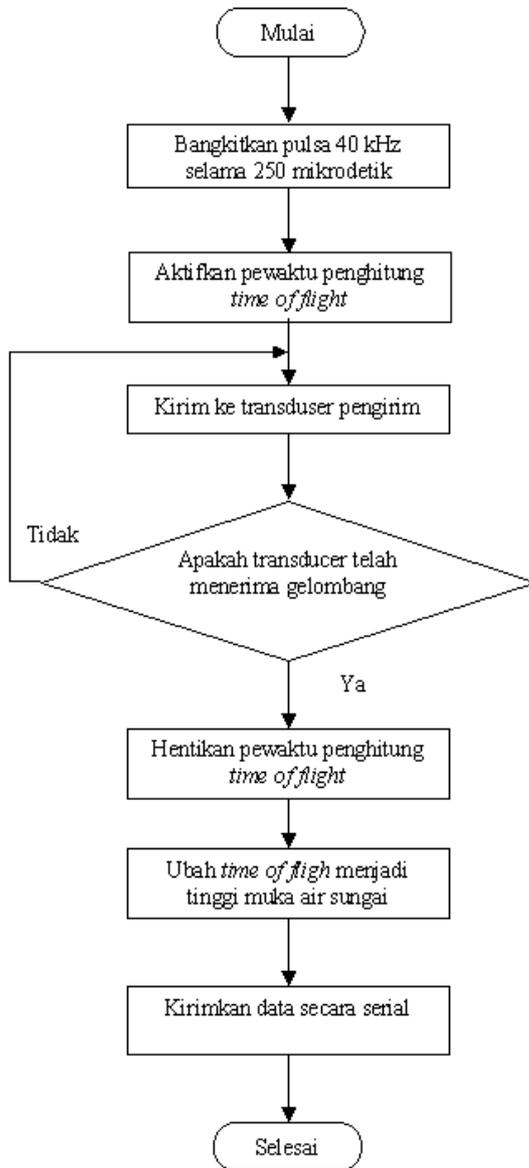


Gambar 3. Diagram alir penelitian.



Gambar 4. Diagram skematik instrumen pengukuran tinggi muka air sungai menggunakan modul pengukur jarak benda.

Untuk mengoperasikan modul pengukur jarak benda sebagai instrumen pengukuran tinggi muka air digambarkan langkah-langkah proses kerja yang dilakukan oleh pengendali-mikro yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir proses pengukuran tinggi muka air sungai menggunakan modul pengukur jarak benda.

Sensor didesain untuk menghasilkan resolusi hingga 1 mm, sehingga diperoleh waktu pantulan setiap satu mm berdasar persamaan (1) sebesar:

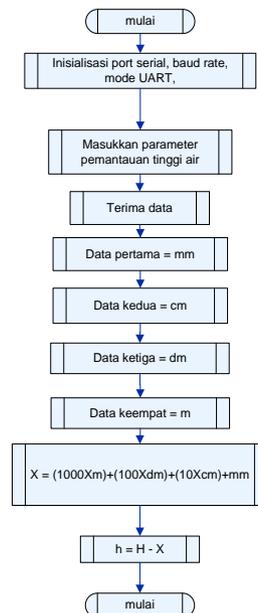
$$S = \frac{V_{suara}}{2} \times t$$

$$1 \text{ mm} = \frac{331 \frac{m}{s} \times t}{2} \quad (1)$$

$$t = \frac{2 \text{ mm}}{331.10^3 \frac{mm}{s}} = 6.10^{-6} \text{ s} = 6 \mu\text{s}$$

Instrumen Telemetri Radio

Instrumen ini difungsikan untuk mengirimkan data hasil pengukuran tinggi muka air sungai. dan terdiri atas suatu *FSK modulator* dan *demodulator*, pemancar dan penerima modulasi frekuensi. Proses pengirim data hasil pengukuran yang dikirim oleh pengendalimikro dengan mode UART, dimodulasikan secara *FSK* lalu dimodulasikan secara frekuensi. Data diterima oleh suatu *demodulator* frekuensi lalu dikembalikan ke bentuk data hasil pengukuran oleh suatu *demodulator FSK*. Proses ini diteruskan ke komputer melalui piranti antarmuka berupa rangkaian terintegrasi *MAX 232*.

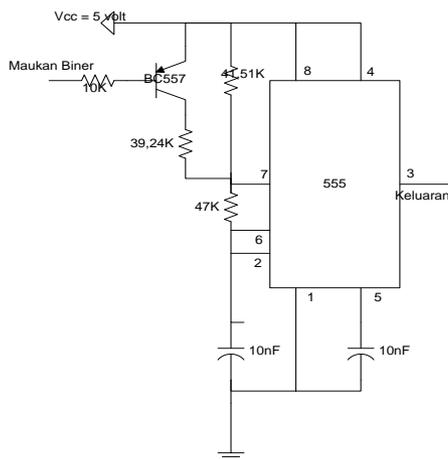


Gambar 6. Diagram alir proses penerimaan data melalui frekuensi radio pada komputer.

Pengolahan data pada komputer dijelaskan melalui langkah-langkah pada Gambar 6.

Modulator FSK

Untuk menghasilkan keluaran *mark* dan *space* untuk merepresentasikan data biner maka didesain *Modulator FSK* seperti Gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Diagram Skematik *Modulator FSK*.

Berdasar skematik tersebut dengan masukan biner *high* (logika 1) maka akan menyebabkan transistor dalam keadaan *off* maka frekuensi keluaran yang dihasilkan sebesar:

$$f_1 = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

$$= \frac{1,44}{(41,51 + 2 \times 47)10^3 \Omega \times 10^{-8} F}$$

$$\approx 1.070Hz$$

Sedangkan untuk masukan biner 0 (logika *low*) maka transistor akan mengalami saturasi sehingga hambatan 41,51 kΩ dan 39,24 kΩ menjadi paralel, dengan frekuensi keluarannya sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

$$= \frac{1,44}{(41,51 // 39,24 + 2 \times 47)10^3 \Omega \times 10^{-8} F}$$

$$\approx 1.270Hz$$

dari skematik tersebut dihasilkan modulasi untuk biner 1 (*high*) berupa *mark* dengan frekuensi 1.070 Hz dan biner 0 (*low*) berupa *space* dengan frekuensi 1.270 Hz.

Demodulator FSK

Masukan *demodulator FSK* adalah dua buah frekuensi yaitu frekuensi 1.070 Hz dan 1.270 Hz, maka frekuensi pusat antara keduanya adalah 1.170 Hz.

$$f_{out} = f_{mark} + \frac{f_{space} - f_{mark}}{2}$$

$$= 1.070 + \frac{1.270 - 1.070}{2}$$

$$= 1.070 + 100 = 1.170 Hz$$

sedangkan frekuensi pusat mempunyai persamaan:

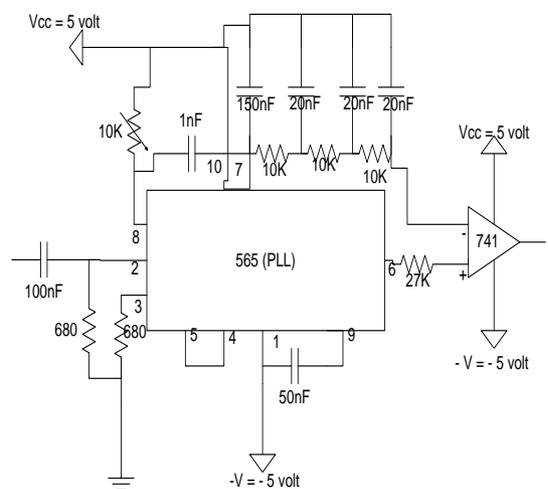
$$f_{center} = \frac{1,2}{4R_0C_0}$$

Jika C_0 dipilih 50nF maka nilai R_0 adalah

$$1.170Hz = \frac{1,2}{4R_0(50.10^{-9})}$$

$$R_0 = \frac{1,2}{4(5.10^{-8})(1.170)} \approx 5,1K\Omega$$

sehingga desain *Demodulator FSK* dapat dilihat seperti Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Skematik *Demodulator FSK*.

Keluaran dari *demodulator FSK* dihubungkan dengan suatu pembanding yang didesain berbasis suatu *operasional amplifier* jenis rangkaian terintegrasi 741. Keluaran komparator merupakan data biner sesuai yang dikirimkan dari masukan modulator *FSK*.

Pengukuran Tinggi Muka Air

Pengambilan data pada penelitian ini diperoleh melalui pengujian fungsional dari instrumen-instrumen sistem pemantauan tinggi muka air sungai. Pengambilan data untuk pengujian instrumen ini dilakukan pada suatu tempat yang diisi air berupa:

- 1) air jernih dengan tinggi 100—1.000 mm dengan kenaikan setiap 100 mm dan tinggi 500—3.000 mm dengan kenaikan setiap 500 mm,
- 2) air keruh (warnanya kecoklatan) dengan tinggi 30—110 mm dengan kenaikan setiap 10 mm, dan
- 3) air jernih dengan tinggi 7—70 mm dengan kenaikan setiap 1 mm.

Data pertama untuk menguji tinggi minimal dan maksimal air yang dapat diukur. Data kedua untuk menguji pemakaian sensor pada air tidak jernih. Sedangkan data ketiga untuk menguji resolusi sensor, mendapatkan nilai ketelitian dan presisi sensor.

Pengujian Desain Instrumen

1. Modulator *FSK*

Data pengujian Modulator *FSK* adalah berupa keluaran yang dihasilkan dari masukan biner. Untuk setiap masukan diuji sebanyak 3 kali, hasilnya berupa frekuensi keluaran dan bentuk gelombang yang dihasilkan.

2. *Demodulator FSK*

Data pengujian *Demodulator FSK* adalah berupa keluaran yang biner dari masukan dua buah frekuensi. Untuk setiap masukan yang berasal dari Modulator *FSK* diuji sebanyak 3 kali,

hasilnya berupa frekuensi pusat (VCO) dan bentuk gelombangnya, serta keluaran dari pembanding yang berupa data biner yang dinyatakan dalam nilai tegangan keluarannya.

$$\text{Kesalahan} = \frac{|X_1 - X| + |X_2 - X| + |X_3 - X|}{3} \quad (2)$$

dengan:

X adalah tinggi muka air sebenarnya (mm)

$X_{1,2,3}$ adalah tinggi muka air pembacaan instrumen (mm).

Kesalahan pengukuran ini menunjukkan tingkat ketelitian sensor. Sedangkan tingkat presisi sensor dinyatakan pada deviasi standar hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya, atau dituliskan dalam persamaan (3).

$$\text{Deviasi Standar} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

dengan

\bar{X} adalah nilai tinggi muka air sebenarnya (mm)

X_i adalah nilai tinggi muka air pembacaan instrumen (mm)

$$\text{Kesalahan} = \frac{|X_1 - X| + |X_2 - X| + |X_3 - X|}{3} \quad (2)$$

dengan:

X adalah tinggi muka air sebenarnya (mm)

$X_{1,2,3}$ adalah tinggi muka air pembacaan instrumen (mm).

Kesalahan pengukuran ini menunjukkan tingkat ketelitian sensor. Sedangkan tingkat presisi sensor dinyatakan pada deviasi standar hasil pengukuran

terhadap nilai sebenarnya, atau dituliskan dalam persamaan (3) di bawah ini:

$$\text{Deviasi Standar} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

dengan:

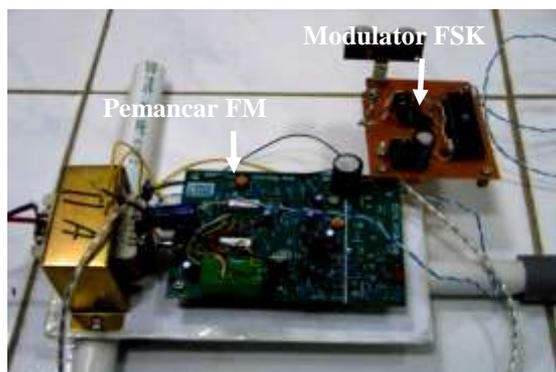
\bar{X} adalah nilai tinggi muka air sebenarnya (mm)

X_i adalah nilai tinggi muka air pembacaan instrumen (mm)

n adalah jumlah pengukuran

D. Hasil dan Pembahasan Instrumen Pengukuran Tinggi Muka Air

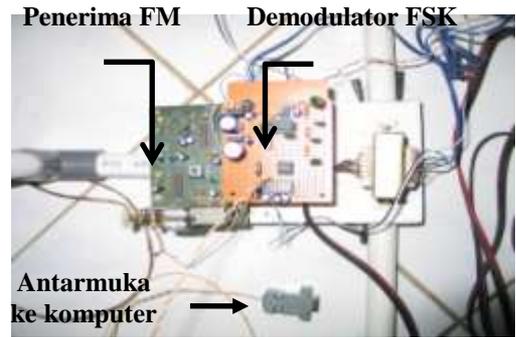
Instrumen hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12.



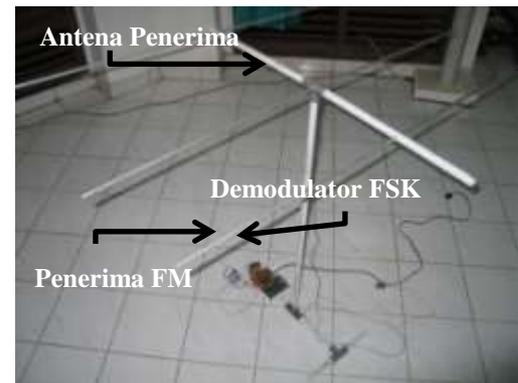
Gambar 9. Modulator FSK dan Pemancar FM.



Gambar 10. Antena Pemancar.



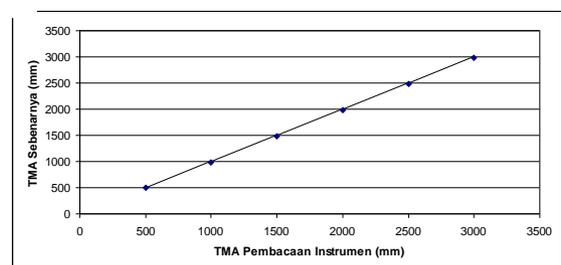
Gambar 11. Demodulator FSK dan Penerima FM.



Gambar 12. Antena Penerima.

Hasil Pengukuran, Ketepatan dan Presisi Sensor Tinggi Muka Air

Hasil pengukuran tinggi muka air (TMA) pada kisaran 500—3.000 mm disajikan pada Gambar 13 yang memperlihatkan tingkat ketepatan pengukuran oleh sensor, dengan besar penyimpangan dari nilai sebenarnya yaitu 0,61 % (berdasarkan persamaan (2)).

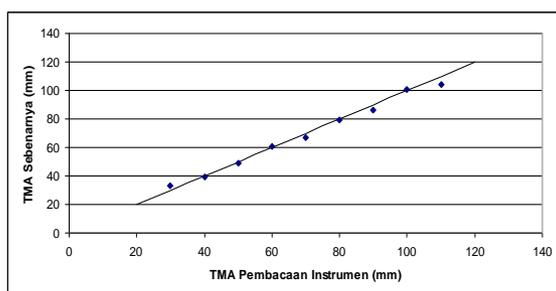


Gambar 13. Grafik Hubungan Tinggi Muka Air (TMA) sebenarnya dengan hasil pengukuran.

Hasil dari pengukuran besarnya kesalahan yang terjadi paling besar pada nilai pengukuran 1.500 mm sedangkan paling kecil terjadi pada 500 mm, kesalahan tersebut semakin meningkat mulai dari nilai pengukuran 500 mm hingga puncaknya 1.500 mm, tetapi semakin menurun untuk pengukuran 1.500 mm hingga 3.000 mm.

Pada Gambar 14 menampilkan hasil pengukuran TMA dengan kondisi air keruh yang diukur pada tinggi muka air 30—110 mm, dari rerata 3 kali pengukuran yang dilakukan terdapat penyimpangan 2,29 %.

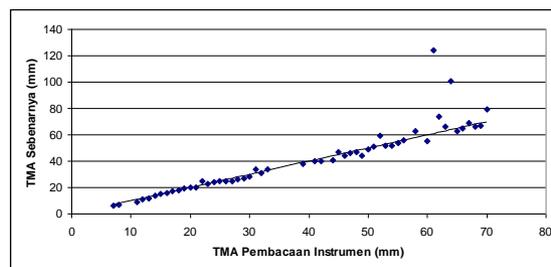
Hasil pengukuran yang disajikan pada gambar 14 menunjukkan bahwa tingkat presisi sensor terbaik pada pengukuran 30 mm dan 110 mm yaitu sebesar 100% hal tersebut ditunjukkan dengan hasil yang sama pada setiap pengukuran, sedangkan tingkat presisi sensor terendah terjadi pada pengukuran berturut-turut 50 mm, 40 mm dan 70 mm, dengan tingkat presisi kurang dari 96%.



Gambar 14. Grafik Hubungan Tinggi Muka Air (TMA) sebenarnya dengan hasil pengukuran pada Air Keruh.

Resolusi Sensor Pengukur Tinggi Muka Air

Hasil pengujian sensor dalam hal untuk mengetahui tingkat resolusi sensor dilakukan pengukuran tinggi muka air pada kisaran 7—70 mm dengan penambahan setiap 1 mm. Gambar 15 adalah grafik hasil pengukuran tinggi muka air yang merepresentasikan resolusi sensor.



Gambar 15. Grafik hasil pengukuran TMA pada kisaran 7—70 mm.

Grafik hasil pengukuran TMA pada kisaran 7—70 mm sebagai indikator dari resolusi sensor, menunjukkan setiap kenaikan 1 mm dapat diukur oleh sensor, tetapi penyimpangan pengukuran sangat besar terjadi pada tinggi muka air 61 mm, 62 mm dan 64 mm.

Perangkat-lunak Pengukuran Tinggi Muka Air

Perangkat-lunak yang dirancang berfungsi untuk memberikan isyarat pemicu ke modul pengukur jarak benda menggunakan ultrasonik dan menghitung jarak antara sensor dengan muka air. Langkah awal untuk mengoperasikan pengendali mikro untuk tujuan ini berupa pengaturan timer, baud rate, dan mode komunikasi serialnya. Langkah selanjutnya adalah memberikan pemicu ke sensor berupa pulsa *high* selama 5 μ s.

Hasil yang diperoleh bahwa pulsa *high* yang dikirimkan ke sensor sebesar 5 μ s. Kondisi tersebut dapat memicu sensor untuk bekerja memulai pengukuran tinggi muka air. Proses selanjutnya adalah memberikan waktu tunda sebesar 750 μ s yang bertujuan untuk menunggu isyarat yang datang dari sensor ke pengendali-mikro sebagai waktu pantulan antara sensor dan muka air.

Instrumen Telemetri Radio

Modulator FSK

Modulator FSK dirancang untuk mengubah data biner (hasil pengukuran

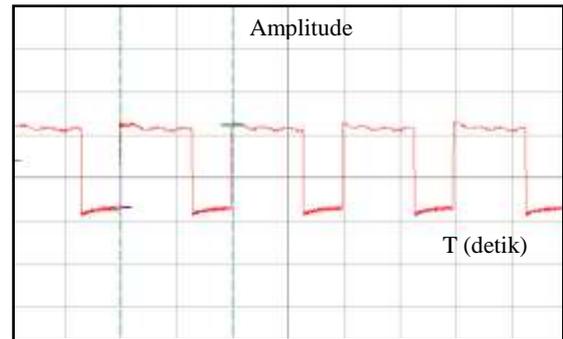
tinggi muka air) menjadi dua buah isyarat/gelombang yang merepresentasikan data biner tersebut, berupa informasi yang siap dikirimkan melalui pemancar FM. Keluaran *FSK Modulator* menghasilkan suatu gelombang dengan frekuensi 1.006 Hz untuk masukan *high* (biner 1) dan frekuensi 1.191 Hz untuk masukan *low* (biner 0).

Tabel 1. Keluaran *FSK Modulator* dengan masukan biner.

Bin	Frek. Desain (Hz)	Frekuensi Hasil (Hz)		
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3
1	1070	1006	1006	1006
0	1270	1191	1191	1191

Tabel 1 memperlihatkan keluaran hasil *FSK Modulator* dilihat besarnya penyimpangan hasil pengukuran dengan desain dapat dilihat bahwa masukan *high* dan masukan *low* hampir sama yaitu masing-masing 5,98% dan 6,22%. Secara fungsional besarnya deviasi/penyimpangan ini tidak mempengaruhi pada pengiriman data hasil pengukuran tinggi muka air, hal tersebut disebabkan adanya kestabilan frekuensi keluaran *FSK Modulator* yang stabil pada nilai-nilai tersebut. Pada Tabel 1 dilihat bahwa hasil pengukuran dengan tiga kali pengukuran dihasilkan nilai yang sama, yaitu 1.006 Hz (logika *high*) dan 1.191 (logika *low*). Hal ini disebabkan komponen yang digunakan tetap sama. Sedangkan adanya penyimpangan karena komponen resistor dan kapasitor yang digunakan memiliki toleransi 5—10%. Keluaran *FSK Modulator* berupa gelombang persegi disajikan pada Gambar 16 berikut ini.

Gelombang seperti ditunjukkan pada Gambar 16 tersebut merupakan informasi yang akan ditransmisikan melalui Pemancar FM.



Gambar 16. Bentuk gelombang keluaran dari *FSK Modulator*.

Kedua buah jenis keluaran *FSK modulator* (frekuensi 1.006 Hz dan 1.191 Hz) masih dalam kisaran frekuensi audio sehingga dapat ditransmisikan melalui pemancar FM. Dari hasil tersebut bahwa secara fungsional *FSK Modulator* telah bekerja sesuai dengan kerangka pemikiran dan desain penelitian.

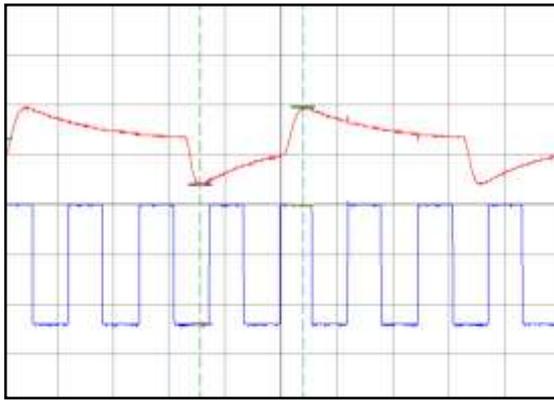
Demodulator FSK

Desain *FSK Demodulator* ditujukan untuk mengubah frekuensi keluaran *FSK Modulator* menjadi data biner kembali. Frekuensi yang menjadi masukan *FSK Demodulator* merupakan keluaran dari penerima FM, sedangkan data biner yang keluar dari *FSK Demodulator* adalah data hasil pengukuran tinggi muka air yang disiapkan untuk dikirim ke komputer melalui *interfacing*. Hasil dari keluaran *FSK Demodulator* yang telah dibuat yaitu 4,85 volt sebagai logika *high* dan -3,15 volt sebagai logika *low*. Masukan *FSK Demodulator* (keluaran penerima FM) berupa gelombang persegi yang tidak sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17.

Bentuk gelombang seperti pada Gambar 17 tersebut dapat dirubah menjadi keluaran biner, hal tersebut tidak dipengaruhi oleh bentuk gelombang yang merupakan masukan, tetapi dipengaruhi oleh perbedaan fase antara masukan *FSK Demodulator* dan keluaran *VCO* pada *FSK Demodulator*. Pada pengukuran Keluaran

FSK Demodulator dengan masukan frekuensi 1.009 Hz (pengiriman logika *high*) dihasilkan keluaran *VCO* rata-rata sebesar 3.968,3 Hz. Dan keluaran *FSK Demodulator* sebesar 4,85 volt (*high*). Hal itu disebabkan oleh keluaran detektor fase sebesar:

$$\begin{aligned} V_{\text{phasedetektor}} &= \frac{f_{\text{VCO}}}{K_{\text{VCO}}} \\ &= \frac{3968,3\text{Hz}}{6600 \frac{\text{Hz}}{\text{V}}} \\ &= 0,60 \text{ V} \end{aligned}$$



Gambar 17. Bentuk gelombang masukan dari *FSK Demodulator* (atas) dan keluaran *VCO* (bawah).

Besarnya beda fase antara masukan dan keluaran *VCO*:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{V_{\text{phasedetektor}}}{K_D} \\ &= \frac{0,60\text{V}}{0,68 \frac{\text{V}}{\text{rad}}} \\ &= 0,88 \text{ rad} \\ &= 159^\circ \end{aligned}$$

Pada pengukuran Keluaran *FSK Demodulator* dengan masukan frekuensi 1.188 Hz (pengiriman logika *low*) dihasilkan keluaran *VCO* rata-rata sebesar 3.714 Hz dan keluaran *FSK Demodulator* sebesar -3,15 volt (*low*). Hal itu disebabkan oleh keluaran detektor fase sebesar:

$$\begin{aligned} V_{\text{phasedetektor}} &= \frac{f_{\text{VCO}}}{K_{\text{VCO}}} \\ &= \frac{3714\text{Hz}}{6600 \frac{\text{Hz}}{\text{V}}} \\ &= 0,56 \text{ V} \end{aligned}$$

Besarnya beda fase antara masukan dan keluaran *VCO*:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{V_{\text{phasedetektor}}}{K_D} \\ &= \frac{0,56\text{V}}{0,68 \frac{\text{V}}{\text{rad}}} \\ &= 0,83 \text{ rad} \\ &= 149^\circ \end{aligned}$$

Keluaran detektor fase berupa tegangan akan dilewatkan suatu amplifier dengan penguatan tetap. Keluaran detektor fase pada pengiriman logika *high* yaitu 0,60 volt sedangkan pada pengiriman logika *low* sebesar 0,56 volt. Kedua nilai tersebut dilewatkan amplifier pada *phase-locked-loop* (PLL) (LM 565) dengan penguatan tetap dilanjutkan dengan dilewatkan pada suatu komparator (pada komparator terjadi perbandingan antara keluaran amplifier pada PLL dengan suatu nilai tetap/*reference output* pada penyemat 6 PLL) maka akan menghasilkan 4,85 volt untuk logika tinggi dan -3,15 volt untuk logika rendah.

Dari hasil tersebut, secara fungsional *FSK Demodulator* dapat mengubah frekuensi keluaran dari penerima FM menjadi data biner yang merupakan hasil pengukuran tinggi muka air.

E. Kesimpulan

1. Model instrumen pengukur tinggi muka air pada jarak 100 m mampu mengukur tinggi muka air dengan skala perubahan terkecil mencapai satu

milimeter, nilai kesalahan pengukuran pada air jernih sebesar 0,61% dan penyimpangan pada air keruh sebesar 2,29%.

2. Data hasil pengukuran tinggi muka air dimodulasikan FSK dengan penyimpangan frekuensi modulator FSK sebesar 5,98% pada pengiriman logika tinggi dan 6,22% logika rendah serta kestabilan frekuensi modulator yang baik.

Daftar Pustaka

- [1] Irianto, G. 2003. Sistem Peringatan Dini Tentang Banjir. *Kompas*, 22 Maret www.kompas.com/kompas-cetak/0303/22/Ilpeng/190014.htm diakses Februari 2006.
- [2] Anonim. 2005. *Pengendalian Banjir*. <http://www.jasatirta1.go.id/4SDA/400Banjir.htm> diakses Februari 2006.
- [3] Wobschall, D. 1987, *Circuit Design for Electronic Instrumentation, analog and digital from sensor to display 2nd Edition*. Mc Graw-HillBook Company, Singapore.
- [4] Pallas-Areny, R. Dan G-Webster, J. 1991. *Sensor and Signal Conditioning*. John Wiley & Sons, Inc, Singapore.
- [5] Santoso, D. R. 2000. Sistem Telemetri Radio Multivariabel Dengan Teknik Pemetaan Frekuensi Pemodulasi. *Natural vol. 4 no. 1*. FMIPA Universitas Brawijaya, Malang.
- [6] Roody, D. dan Coolen, J. 1997. *Komunikasi Elektronika, Jilid 1*. Erlangga, Jakarta.
- [7] De Anna, R. G. 2000. *Wireless Telemetry for Gas Turbin Application*, NASSA.