

PENGEMBANGAN MODEM AFSK UNTUK TELEMETRI MUATAN ROKET UHF

Wahyu Widada
Peneliti Bidang Telemetri dan Muatan Roket. LAPAN

ABSTRACT

1

Modem is an important component in the telemetry data system of the rocket. The telemetry data based on an amateur radio is usually used an AFSK modem. This paper describes the development of AFSK modem using a microcontroller which the speed can be set to the maximum bandwidth of the radio. The prototype is use a 16 MHz of microcontroller and the speed can be set to 2.4 kbps that available to the standard bandwidth of an amateur radio.

ABSTRAK

Modem merupakan komponen yang sangat penting untuk sistem telemetri data muatan roket Telemetri ini berbasis UHF yang memerlukan modem AFSK [*Audio Frekuensi Shift Keying*] untuk komunikasi data. Tulisan ini membahas mengenai pengembangan modem AFSK berbasis *microcontroller* dengan kecepatan transfer data yang dapat diatur sesuai dengan kemampuan *bandwith* radio yang digunakan. Prototip modem ini menggunakan sebuah *microcontroller* dengan kecepatan 16 Mhz dan dapat menghasilkan kecepatan modem sampai 2.4 kbps yang sesuai dengan standar *bandwidth* UHF.

Kata kunci: *AFSK modem, Band-rate, Telemetri, Roket, Telemetri, UHF*

1 PENDAHULUAN

Komunikasi data antara muatan roket dengan stasiun penerima dapat menggunakan sebuah UHF yang dilengkapi dengan perangkat modem. Pada dekade ini telah berkembang dengan pesat komunikasi data dengan radio yang dikhususkan untuk komunikasi data, pada awalnya menggunakan radio suara dengan sebuah modem audio. Untuk melakukan komunikasi data jarak jauh, frekuensi radio yang paling optimal adalah frekuensi rendah, bisa VFH atau UHF. Jika menggunakan frekuensi yang lebih tinggi, maka daya jangkaunya menjadi berkurang jauh. Pada peluncuran sebuah roket yang mempunyai daya jangkau rendah, maka radio dengan frekuensi tinggi dan kecepatan transfer tinggi dapat digunakan secara optimal. Akan tetapi untuk roket dengan daya jangkau yang jauh, penggunaan radio

frekuensi lebih rendah lebih optimal, walaupun jumlah data yang dapat dikirim menjadi terbatas. Akan tetapi masih dalam batas jumlah data yang memadai untuk digunakan sebagai bahan analisa terbang roket tersebut.

Kecepatan transfer data dapat ditingkatkan dengan memodifikasi modem dan *bandwidth* radio. Komunikasi data melalui UHF telah banyak dikembangkan pada awal tahun 80an dan masih digunakan sampai sekarang. Akan tetapi karena UHF digunakan juga sebagai alat komunikasi suara, maka pengiriman data via radio suara ini masih diperlukan dan lebih optimal untuk aplikasi-aplikasi tertentu yang memerlukan komunikasi data dan suara. Modem untuk radio suara [*Audio Frequency Shift Keying*] seperti tipe standar tidak mudah diperoleh serta mempunyai kecepatan yang terbatas, yaitu 1200 bps dan dapat ditingkatkan

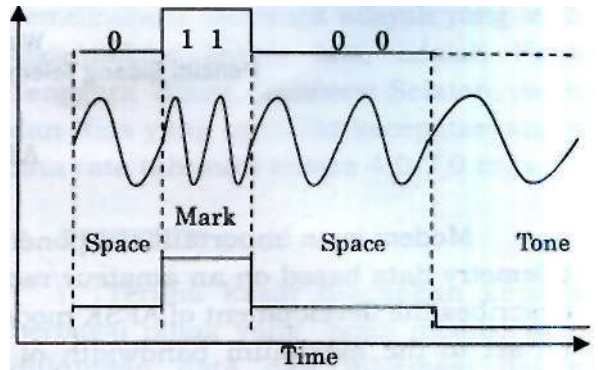
menjadi 2400 bps. Akan tetapi *bandwidth* UHF masih mampu untuk mengirim data dengan kecepatan yang lebih tinggi lagi. Sehingga pengembangan modem jenis AFSK dengan sebuah *microcontroller* menjadi sangat penting untuk keperluan komunikasi peluncuran roket.

Dalam tulisan ini memuat mengenai pengembangan modem berbasis *microcontroller* dengan membuat modulasi pulsa dan sebuah *lowpass filter*. Dalam percobaan kali ini menggunakan *microcontroller* tipe AT90S2313 buatan ATMEL dengan kecepatan kristal 16 MHz. *Input* data ke modem ini dapat berupa data digital pada level TTL maupun serial RS232. Modem ini sangat sederhana dan mempunyai kemampuan kecepatan transfer data yang dapat diubah-ubah sampai dengan kecepatan 2.4 kbps sesuai dengan lebar pita UHF. Selain mudah diintegrasikan dengan sistem muatan, juga mempunyai kecepatan yang lebih tinggi, sampai batas kemampuan radio dan dapat menghemat biaya dibandingkan dengan menggunakan modem standar dipasaran. Hasil pengembangan modem ini masih sederhana, tetapi dapat membuka peluang pengembangan selanjutnya.

2 TEORI DASAR AFSK MODEM

Sesuai dengan namanya, modulasi pengiriman data digital ini adalah memodulasi dua buah frekuensi untuk mengirim data digital *high* dan *low*, yang biasa disebut '*mark*' dan '*space*' frekuensi. Secara standar modem seperti Bell202, frekuensi untuk modem dengan kecepatan 1200 bps adalah, 1200 Hz (*space*) dan 2200 Hz (*mark*), dengan *tone* frekuensi 1000 Hz. *Signal tone* ini digunakan untuk mendeteksi ada tidaknya komunikasi sehingga mempermudah pendeteksian frekuensi. Pada Gambar 2-1 di bawah terlihat sebuah contoh *signal* data yang berupa pulsa dengan lebar tertentu untuk mengirim data binari "01100". Kemudian pada gambar bagian tengah, menunjukkan data yang di-

modulasikan ke *signal* sinusoidal. Bagian paling bawah menunjukkan perubahan ketika frekuensi vane dieunakan.



Gambar 2-1: Modulasi frekuensi untuk modem AFSK dengan data binary "01100"

Kecepatan data maksimum yang dapat dikirim melalui AFSK modem (*maximum keying speed in bauds*) terhadap modulasi adalah

$$\text{Baud} = \frac{1}{dT} = f_s \quad (2.1)$$

f_s adalah frekuensi '*space*' dalam Hz dan *Baud* dalam bit/detik. Sehingga jumlah karakter *ascii* yang dapat dikirim adalah *Baud*/8 tiap detik. Dengan keterangan lain bahwa satu buah data *binary* akan diwakili dengan sebuah gelombang sinusoidal atau satu *byte* diwakili dengan delapan gelombang sinus. *Microcontroller* secara mudah dapat digunakan untuk membuat *signal* pulsa dengan lebar yang dapat diubah-ubah. Sehingga data yang akan lara modulasikan diubah menjadi data *binary* dan kemudian membuat pulsa dengan lebar sebuah dengan frekuensi yang digunakan. *Signal* yang berupa pulsa ini tidak dapat dikirim dengan baik pada UHF. Karena *signal* pulsa ini mengandung frekuensi tinggi, sehingga harus kita gunakan *lowpass filter* agar dapat berbentuk *signal* sinusoidal dan dapat didengar dan dikirim melalui radio. Sebaliknya pada sistem penerima, keluaran suara dari radio harus dapat dihitung frekuensinya. Sehingga proses yang mudah dilakukan adalah menghitung lebar pulsa *signal* tersebut. Proses ini dapat dilakukan dengan mudah dengan fasilitas

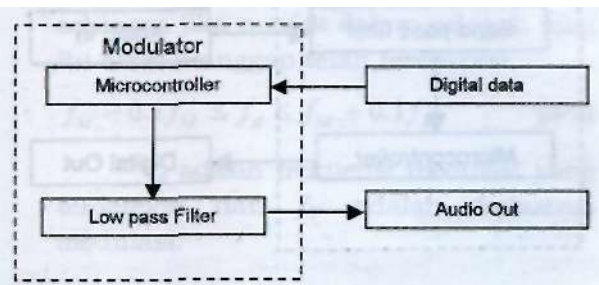
komparator signal pada *microcontroller*. *Input* signal sinusoidal dari radio, kita bandingkan dengan signal dengan besaran tertentu pada pertengahan tegangan minimal dan maksimal keluaran tegangan suara radio. Penjelasan metodayang lebih detail akan dibahas pada bab berikut.

3 RANCANG-BANGUN MODEM AFSK

Sistem komunikasi via modem ini terdiri dari dua bagian. Bagian transmitter dengan menggunakan modulator dan sebuah radio. Bagian *receiver* dengan menggunakan demodulator dan sebuah radio sebagai penerima. Masing-masing bagian modem tersebut dijelaskan sebagai berikut.

3.1 Modulator

Modulasi deret data binari menjadi signal suara dapat dilakukan pada salah satu *port* sebuah *microcontroller*. Lebar pulsa masing-masing frekuensi dapat diatur dengan *timer* pada prosesor tersebut. Data digital yang masuk langsung dirubah menjadi pulsa. Pulsa ini akan melalui *lowpass filter* agar berubah menjadi gelombang sinus dan dapat dikirim dengan baik melalui gelombang radio. Bagan modulator komunikasi radio suara dapat dilihat pada Gambar 3-1, yang terdiri dari rangkaian elektronik yang sangat sederhana, seperti sebuah *microcontroller* AT90S2313 dengan kecepatan 16 MHz dan *lowpass filter* dengan menggunakan komponen beberapa resistor dan kapasitor.



Gambar 3-1: Skema modulator data menjadi suara

Frekuensi signal yang digunakan untuk modulasi data seperti pada Tabel 3-1. Frekuensi 'tone' sedikit lebih rendah dari frekuensi 'space'. Frekuensi signal 'space'

disamakan dengan kecepatan transfer data atau *baudrate*, sehingga satu panjang gelombang sinus memuat satu data *binary*. Kecepatan transfer data ini sebenarnya dapat diatur seoptimal mungkin sesuai dengan lebar pita radio dan kebutuhan pada sistem telemetri, walaupun menggunakan kecepatan dan frekuensi signal yang tidak standar. Dalam percobaan kali ini kita menggunakan 3 buah kecepatan transfer data, 1200 dan 2400 bps yang masih dapat ditransfer melalui UHF yang masih standar (belum dimodifikasi).

Tabel 3-1: KECEPATAN DAN FREKUENSI UNTUK MODULASI

Baud (bps)	Tone (Hz)	Space (Hz)	Mark (Hz)
1200	1000	1200	1500
2400	2000	2400	3000

Pada bagian *lowpass filter*, makin banyak order yang digunakan, bentuk gelombang yang diinginkan semakin baik. Sehingga frekuensi yang dihasilkan menjadi semakin tajam terhadap nilai yang diinginkan. Jika bentuk signal masih berbentuk mendekati pulsa, maka frekuensi signal yang dihasilkan menjadi lebih lebar yang mengandung frekuensi yang banyak. Pada prototip modulator kali ini, digunakan *lowpass filter* order 4 dan hasil signal yang diperoleh cukup baik. Pada Gambar 3-1 nilai resistor untuk masing-masing kecepatan transfer berbeda-beda agar sesuai dengan frekuensi yang digunakan. Tabel 3-2 adalah nilai resistor yang digunakan pada percobaan kali ini. Penggunaan variabel resistor akan menjadi lebih praktis dalam percobaan maupun saat merubah kecepatan modulasi, misalnya dengan 1 Ohm variabel resistor.

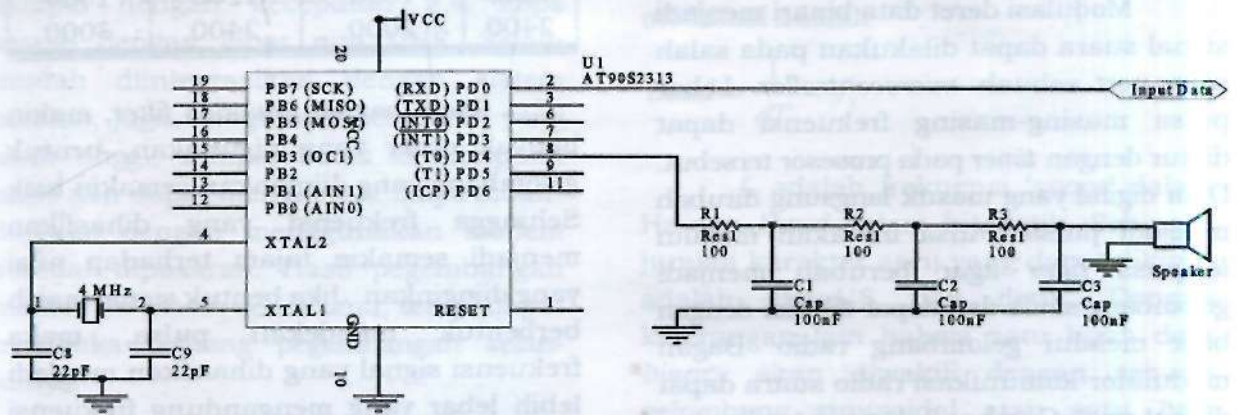
Tabel 3-2: NILAI TAHANAN DAN KAPASITOR UNTUK MASING-MASING BAUDRATE

Baud (bps)	R (Ohm)	C (nF)
1200	200	100
2400	100	100

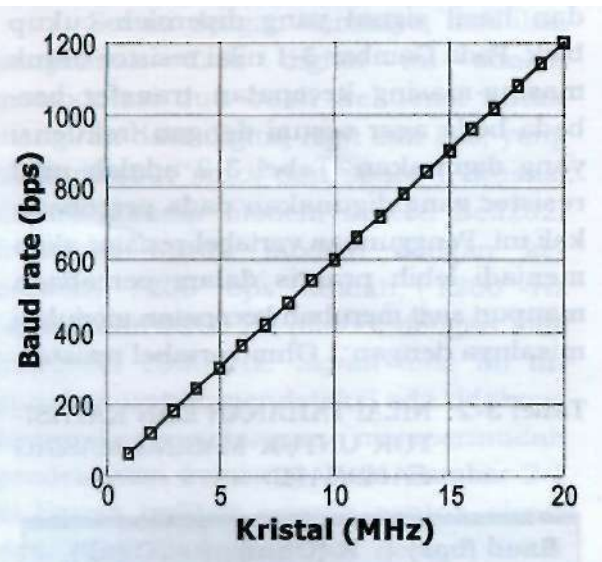
Metoda lain yang dapat digunakan untuk memodulasi signal adalah dengan menggunakan rangkaian *digital-to-analog converter* berbasis *network resistor* yang biasa disebut *R2R ladder*. Akan tetapi metoda ini sedikit memerlukan komponen yang lebih dan program yang lebih kompleks, sehingga metoda yang dipilih menggunakan *lowpass filter*.

BAUDRATE vs KRISTAL

Untuk mengganti kecepatan *baudrate* modulator dapat melalui program pada *microcontroller* atau dengan mengganti kecepatan kristal yang dipakai (memakai *jumper* dengan beberapa macam kristal). Hubungan antara kecepatan kristal dan *baudrate* adalah linier, seperti terlihat pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2: Skematik modulator AFSK modem

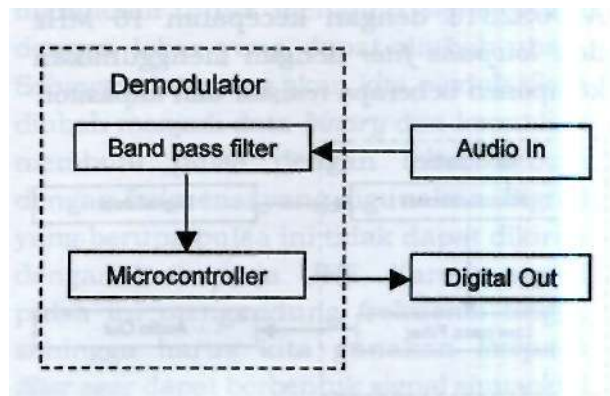


Gambar 3-3: Hubungan kecepatan kristal dan *baudrate* dengan parameter fix

Komunikasi dengan kecepatan *baudrate* yang tidak standar dapat dilakukan antar modem dan juga antara modem dan komputer. Sehingga penggunaan kecepatan *baudrate* ini sangat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan *bandwidth* UHF yang digunakan. Untuk memperoleh hasil signal yang baik, penggunaan kristal kecepatan tinggi (16 MHz) sangat diperlukan. Agar eksekusi perintah menjadi lebih cepat, sehingga memperoleh frekuensi signal modulasi yang lebih akurat.

3.2 Demodulator

Gambar 3-3 adalah rancangan demodulator untuk modem AFSK. Input berupa signal suara dari radio, dan keluarannya berupa serial data.



Gambar 3-4: Skema demodulator suara menjadi data digital

Rancangan rangkaian elektronik untuk demodulator ini harus dapat menghasilkan signal yang cukup bagus agar dapat mendeteksi data yang dikirim.

Sehingga memerlukan pengkondisian sinyal yang baik. *Bandpass filter* merupakan hal yang sangat penting untuk mengeliminasi sinyal-sinyal yang tidak dikehendaki. Prosesor AT90S8515 mempunyai *analog comparator* secara internal yang dapat membandingkan tegangan *input* pada positif pin AINO dan pada negatif pin AIN1 (Gambar 3-5). Ketika tegangan pada positif pin AINO lebih tinggi dari tegangan pada negatif pin AIN1, maka *analog comparator output* dalam keadaan *set* atau *high*. Keluaran komparator ini dapat digunakan untuk melakukan *triggering* sebuah *timer* atau *counter* untuk menghitung lebar *signal*. Rangkaian prototip demodulator pada Gambar 3-5 di bawah. *Output signal* dari radio masuk ke pin positif komparator dan tegangan *input* pada negatif komparator. *Input* tegangan komparator AIN1 tersebut dapat ditulis dengan persamaan berikut.

$$C(t) = \frac{(\max A(t) - \min(A_t))}{2} \quad (3-1)$$

$A(t)$ adalah output signal suara dari radio *receiver*, $Q(t)$ adalah tegangan untuk komparator terhadap signal radio *receiver*. Pada persamaan 3-1 diharapkan dapat menghitung lebar satu buah gelombang sinus secara akurat dengan memotong pada bagian tengah. Signal $A(t)$ yang diterima mengandung *noise* yang tidak diperlukan, sehingga perlu dihilangkan dengan sebuah *bandpass filter*. Perhitungan frekuensi yang terdeteksi ini dapat kita beri nilai toleransi sebesar kira-kira $\pm 10\%$ dari frekuensi modulasi (seperti pada persamaan 3-2 di bawah), sehingga jika masuk dalam wilayah nilai itu akan dianggap telah terdeteksi.

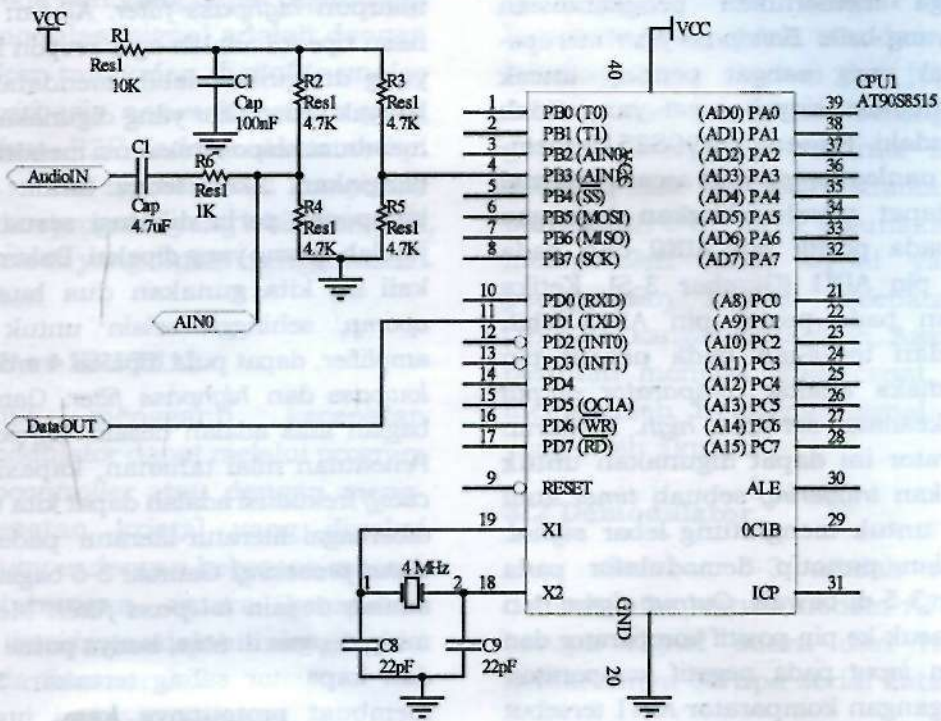
$$f_M - 0.1f_M \leq f_d \leq f_M + 0.1f_M \quad (3-2)$$

f_d adalah frekuensi modulasi yang terdeteksi dan f_u adalah frekuensi modulasi.

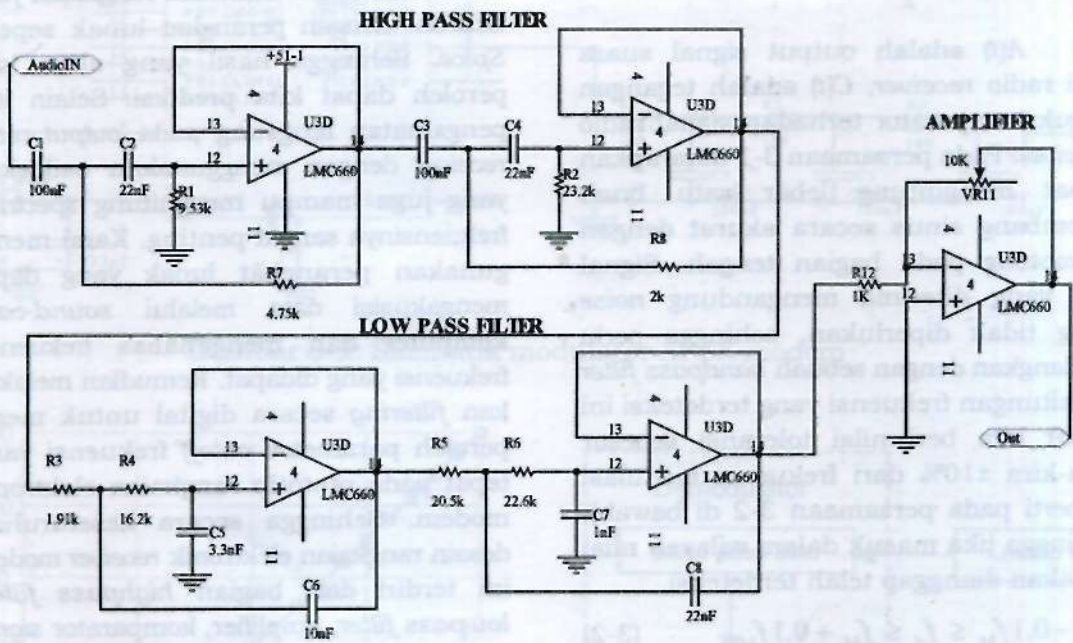
BAND-PASS FILTER RADIO RECEIVER

Desain JUtter untuk *receiver* modem ini kami gunakan tipe *butterworth* dengan rangkaian Sallen-Key, baik untuk *lowpass*

maupun *highpass filter*. Alasan penggunaan tipe ini adalah agar respon frekuensi yang diinginkan lebih mendatar. Makin banyak order *filter* yang digunakan, dapat membuat *respon* frekuensi mendekati yang diinginkan. Akan tetapi untuk optimasi komponen perlu dibatasi sesuai dengan jumlah *opamp* yang dipakai. Dalam prototip kali ini kita gunakan dua buah *quad-opamp*, sehingga selain untuk sebuah amplifier, dapat pula dipakai 4 order untuk *lowpass* dan *highpass filter*. Gambar 3-6 bagian atas adalah desain *highpass filter*. Penentuan nilai tahanan, kapasitor, dan *cutq/frekuensi* adalah dapat kita temukan diberbagai literatur-literatur pada bidang *signal prosesing*. Gambar 3-6 bagian bawah adalah desain *lowpass filter*. Methodanya mirip dengan di atas, hanya posisi tahanan dan kapasitor saling tertukar. Sebelum membuat prototipnya kami juga telah menghitung nilai-nilai komponen tersebut dengan rumus yang telah ada, dan juga telah melakukan simulasi rangkaian *filter* tersebut dengan perangkat lunak seperti *Spice*. Sehingga hasil yang akan kita peroleh dapat kita prediksi. Selain itu, pengamatan langsung pada *output* radio *receiver* dengan menggunakan osiloskop yang juga mampu menghitung *spectrum* frekuensinya sangat penting. Kami menggunakan perangkat lunak yang dapat mengakusisi data melalui *sound-card* komputer dan menganalisa frekuensi-frekuensi yang didapat. Kemudian melakukan *filtering* secara digital untuk memperoleh parameter *cutoff* frekuensi yang tepat pada prototip rangkaian elektronik modem. Sehingga secara keseluruhan desain rangkaian elektronik *receiver* modem ini terdiri dari bagian *highpass filter*, *lowpass filter*, amplifier, komparator *signal*, dan prosesing digital dengan *microcontroller*. Hasil percobaan yang kami peroleh akan dibahas lebih mendetail pada bagian berikutnya. Untuk memilih kecepatan *baudrate* untuk *demodulator*, perlu digunakan *jumper* untuk pemilihan kecepatan kristal dan rangkaian filtering agar sensitivitas *receiver* tetap dalam kondisi baik.



Gambar 3-5: Skema demodulator yang terhubung pada port AINO dan AIN1



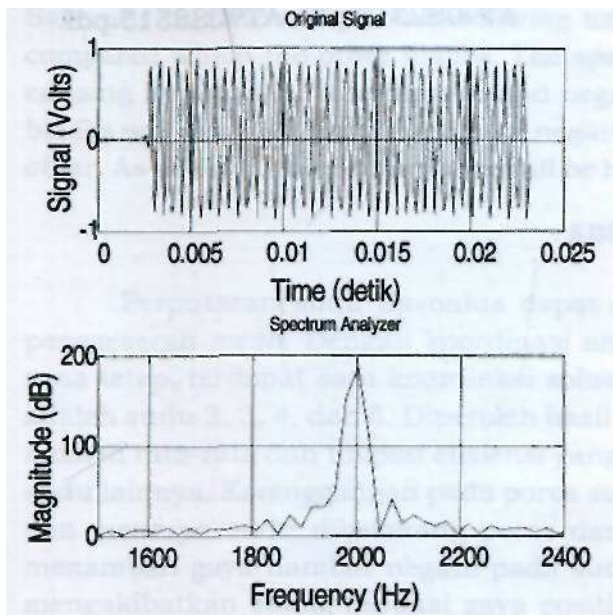
Gambar 3-6: Skema *bandpass filter* 4 order untuk demodulator

4 PERCOBAAN DAN ANALISA

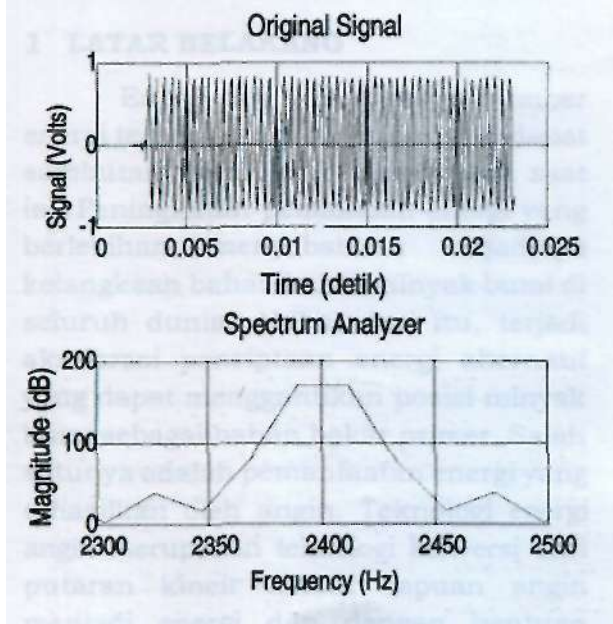
Percobaan dilakukan dengan membuat rangkaian prototip baik untuk *transmitter* dan *receiver* yang dilengkapi dengan dua buah UHF. Mula-mula kita analisa *signal tone*, apakah stabil untuk membuat frekuensi yang dihasilkan. Kemudian mengecek frekuensi *mark* dan *space* apakah sudah sesuai dengan

rencana. Perhitungan *spectrum* frekuensi signal tersebut dilakukan dengan menggunakan program MATLAB yang terhubung pada *sound-card*. Untuk menganalisa *bandpass filter* yang telah dirancang, kita cek respon frekuensinya dengan menggunakan *signal generator* yang dimodulasikan dari nol sampai 6 kHz. Kemudian dimasukkan beberapa data yang dikirim dan diterima dengan *receiver* yang telah

terhubung pada sebuah terminal komputer via rs232. Radio yang digunakan mempunyai *bandwidth* yang cukup respon pada frekuensi 500 Hz sampai dengan 3500 Hz. Sehingga kecepatan *baudrate* yang ideal adalah antara 1200 bps dan 2400 bps. Untuk kecepatan yang lebih tinggi memerlukan radio yang lebih lebar *bandwidth*. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan radio yang khusus dirancang untuk modem cepat atau dapat dimodifikasi sendiri.

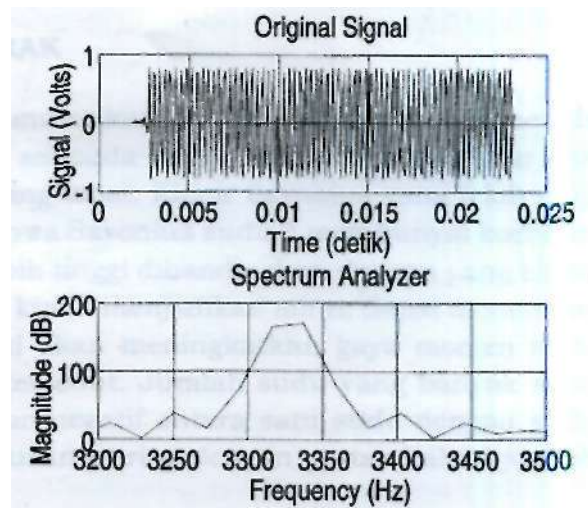


Gambar 4-1: *Signal tone* dengan frekuensi 2000 Hz

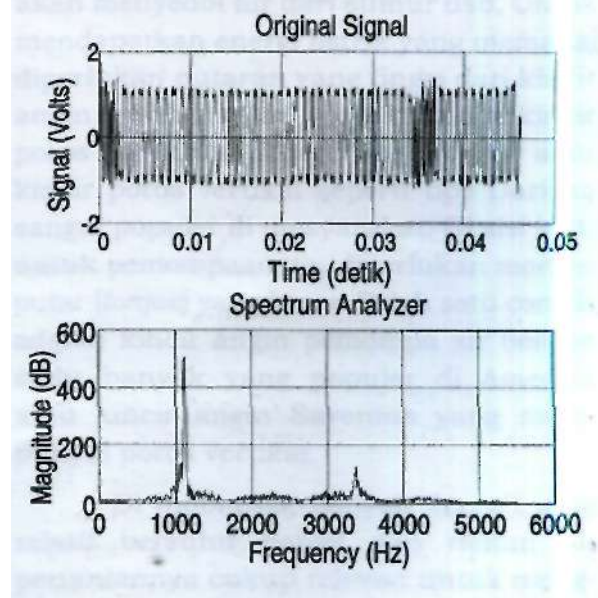


Gambar 4-2: *Signal space* dengan frekuensi 2400 Hz

Gambar 4-2 sampai Gambar 4-4 menunjukkan *signal tone* yang dihasilkan oleh *transmitter*, masing-masing dengan frekuensi 2000, 2400, 3330 Hz. Sehingga dengan modulasi frekuensi ini dapat digunakan untuk mengirim data maksimal 2400 bps. Contoh *signal* pengiriman data dengan data huruf /A/ dapat dilihat pada Gambar 4-4. *Signal* terlihat dua kali mengirim data. Pada spektrum di bawah menunjukkan frekuensi *tone* yang paling dominan. Analisa *signal* ini dilakukan dengan menggunakan *sound-card* sebuah PC sebagai data akuisisi. Kecepatan sampling maksimum sampai 44 kHz, sehingga cukup untuk mendeteksi *signal* dari modulator.



Gambar 4-3: *Signal mark* dengan frekuensi 3330 Hz



Gambar 4-4: *Signal* pengiriman data /A/

5 KESIMPULAN

Pengembangan modem tipe AFSK berbasis *microcontroller* dengan kecepatan transfer sampai 2400 bps untuk komunikasi telemetri muatari roket dengan UHF. Pengujian dilakukan dengan dua buah UHF dengan frekuensi UHF dan memperoleh kualitas komunikasi data dengan baik. Kecepatan modem ini dapat ditingkatkan lebih cepat lagi sesuai dengan *bandwidth* radio yang dipergunakan. Ke-stabilan modulasi dapat diperoleh dengan lebih baik menggunakan kecepatan kristal yang lebih cepat Modem ini akan di-

integrasikan dengan sistem muatan roket baiistik untuk mengjrim data sensor gerak inersia [*Inertial Measurements Unify* dan data GPS.

DAFTAR RUJUKAN

Bob Watson, *FSK: Signals and Demodulation* Technical Note, www.wj.com.
www.tcm3105.com; Data sheet modem TCM3105.pdf.
www.atmel.com; Data sheet Microcontroller AT90S2313.pdf, AT90S8515.pdf.