

MAKALAH TUGAS AKHIR PERANCANGAN TELEMETRI SUHU DENGAN MODULASI DIGITAL FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) – MODULASI FREKUENSI

Oleh : Januar Rifai

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Abstrak

Sistem telemetri sering digunakan untuk pengukuran di daerah-daerah yang sukar untuk dijangkau manusia seperti gunung, gua atau lembah. Selain itu dalam pemantauan cuaca juga digunakan sistem telemetri, dimana salah satu parameter cuaca adalah suhu udara. Pemantauan yang terus-menerus tidak memungkinkan petugas untuk melakukan pengukuran secara terus-menerus, sehingga petugas cukup meletakkan alat ukur pada tempat pengukuran dan dapat dipantau dari tempat lain.

Tujuan dari telemetri suhu adalah untuk memberikan kemudahan dalam mengukur suhu dari tempat yang aman, misalnya pada gunung berapi atau pada peleburan baja yang tidak memungkinkan manusia untuk melakukan pengukuran secara langsung pada jarak yang dekat. Selain itu sistem telemetri sering digunakan pada program luar angkasa untuk mengukur suhu permukaan suatu planet, sehingga keadaan cuaca pada suatu planet dapat diperkirakan.

Dalam Tugas Akhir ini akan dibuat perangkat keras dimana tegangan keluaran sensor diubah dengan ADC menjadi data digital paralel kemudian diubah menjadi data digital serial kemudian dengan modulasi FSK data serial diubah menjadi bentuk analog. Kemudian dipancarkan menggunakan pemancar FM. Sedangkan pada penerima menggunakan penerima FM. Sinyal informasi dimodulasi dan dipisahkan dari cariernya. Sinyal informasi kemudian diubah kembali menjadi data digital serial dengan demodulasi FSK. Data digital serial kemudian melalui rangkaian antarmuka komputer dan diterima komputer secara serial dan ditampilkan hasilnya di monitor.

Pada pengujian sistem ini, pemancar ditempatkan di gedung B lantai tiga di ruang EWS dan jarak jangkauan setelah pengujian adalah 700 meter. Pada monitor komputer ditampilkan besaran suhu dalam derajat celsius. Pada pengukuran terdapat kesalahan pada pengkonversian suhu oleh LM35 jika dibandingkan dengan termometer, Kesalahan terbesar setelah dilakukan pengujian adalah $1,2^{\circ}\text{C}$. Pada pengujian selama 24 jam diperoleh hasil bahwa suhu udara tertinggi adalah $29,27^{\circ}\text{C}$ dan suhu terendah adalah $24,63^{\circ}\text{C}$.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem telemetri sering digunakan untuk pengukuran di daerah-daerah yang sukar untuk dijangkau manusia seperti gunung, gua atau lembah. Selain itu dalam pemantauan cuaca juga digunakan sistem telemetri, dimana salah satu parameter cuaca adalah suhu udara. Pemantauan yang terus-menerus tidak memungkinkan petugas untuk melakukan pengukuran secara terus-menerus, sehingga petugas cukup meletakkan alat ukur pada tempat pengukuran dan dapat dipantau dari tempat lain.

1.2 Tujuan

Tujuan dalam Tugas Akhir ini adalah membuat dan menguji sistem telemetri suhu udara dengan modulasi digital FSK (*Frequency Shift Keying*) - modulasi frekuensi.

1.3 Pembatasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Sensor yang digunakan adalah LM35 dengan jangkauan 2 sampai 150°C .
2. Peralatan pemancar modulasi frekuensi dengan daya pancar kurang lebih 3 W, dengan frekuensi 110 MHz, dan dideteksi dengan radio penerima FM.

3. Pada penerima FM menggunakan Tuner jadi, dan tidak membahas tentang rangkaian tuner tersebut.
4. Mikrokontroler AT89C51 hanya digunakan sebagai sarana untuk mengubah data paralel menjadi serial UART dengan baudrate 600 bps dan tidak membahas arsitektur AT89C51 secara detail.
5. *Handshaking* komunikasi serial yang digunakan adalah tanpa bit paritas, 8 bit data dan 1 bit stop.
6. Modem FSK menggunakan IC TCM 3105 dengan baudrate 1200 bps.
7. Untuk menampilkan hasil pengukuran digunakan PC dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic 6.

II. DASAR TEORI

Sistem telemetri terbagi dalam tiga blok besar pembangun sistem, antara lain blok sumber data, blok saluran transmisi, dan blok penerima data.

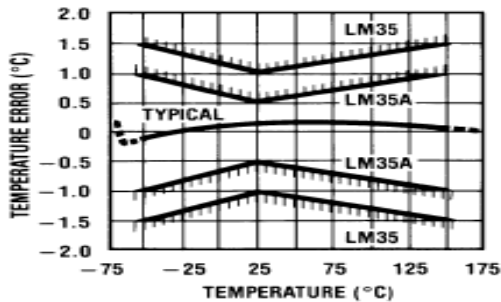
2.1 Sensor Suhu LM35

LM 35 memiliki kelebihan-kelebihan sebagai berikut :

1. dikalibrasi langsung dalam celcius;
2. memiliki factor skala linear $+ 10.0\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$;
3. memiliki ketepatan $0,5^{\circ}\text{C}$ pada suhu $+ 25^{\circ}\text{C}$ seperti terlihat pada gambar 1;
4. jangkauan maksimal suhu antara -55° sampai $+150^{\circ}\text{C}$;
5. cocok untuk aplikasi jarak jauh;
6. harga yang cukup murah;

7. bekerja pada tegangan catu 4 sampai 30 Volt;
8. memiliki arus drain kurang dari 60 uA;
9. pemanasan sendiri yang lambat (*low self - heating*), 0,08°C di udara diam;
10. ketidaklinearan hanya sekitar $\pm 1/4^\circ\text{C}$;
11. memiliki impedansi keluaran yang kecil, 0,1 W untuk beban 1 mA.

Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)

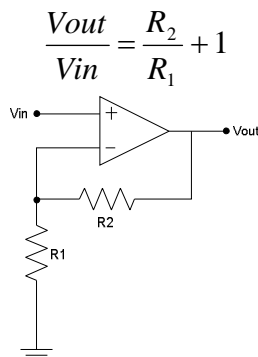


Gambar 2.1. Grafik Hubungan akurasi terhadap suhu untuk sensor LM 35 [15]

2.2 Penguat Operasional

2.2.1 Penguat Tidak Membalik (Non-Inverting)

Penguat tidak membalik yang ditunjukkan gambar 2.2 mempunyai impedansi masukan yang tinggi, impedansi keluaran rendah dan penguatan tegangan yang stabil yang ditunjukkan dengan persamaan :



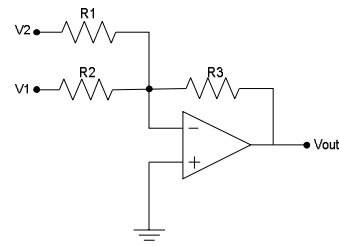
Gambar 2.2. Penguat Tidak Membalik [7][8]

2.2.2 Penguat Penjumlah (Summing Amplifier)

Modifikasi umum dari penguat membalik adalah sebuah amplifier yang menjumlahkan atau menambahkan dua atau lebih tegangan yang diterapkan. Rangkaian ini ditunjukkan oleh gambar untuk kasus dua tegangan masukan. Fungsi transfer penguat ini diberikan oleh

$$V_{out} = - \left[\frac{R_3}{R_1} V_1 + \frac{R_3}{R_2} V_2 \right]$$

Penjumlahan dapat diberi skala dengan pemilihan tahanan yang tepat. Contohnya, jika $R_1=R_2=R_3$, maka keluarannya hanya jumlah (terbalik) dari V_1 dan V_2 . Rata-rata dapat dicari dengan menjadikan $R_1=R_3$ dan $R_2=R_1/2$.

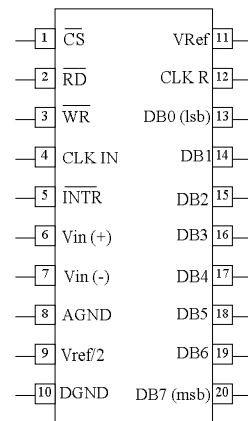


Gambar 2.3. Penjumlah sinyal [7][8]

2.3 Pengubah Analog ke Digital 0804 (Analog to Digital Converter / ADC 0804)

ADC banyak tersedia dipasaran, tetapi dalam tugas akhir ini digunakan ADC0804. Gambar 2.4 menunjukkan susunan kaki ADC tersebut. Beberapa karakteristik ADC0804 adalah sebagai berikut:

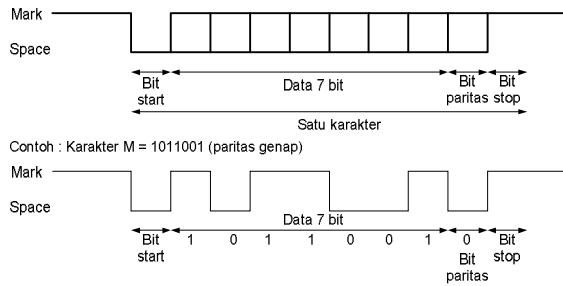
- Memiliki 2 masukan analog : $V_{in}(+)$ dan $V_{in}(-)$ sehingga memperbolehkan masukan selisih (diferensial). Dengan kata lain, tegangan masukan analog yang sebenarnya adalah selisih dari masukan kedua pin [analog $V_{in} = V_{in}(+) - V_{in}(-)$]. Jika hanya satu masukan maka $V_{in}(-)$ dihubungkan ke ground. Pada operasi normal, ADC menggunakan $V_{cc} = +5V$ sebagai tegangan referensi, dan masukan analog memiliki jangkauan dari 0 sampai 5 V pada skala penuh.
- Mengubah tegangan analog menjadi keluaran digital 8 bit. Sehingga resolusinya adalah $5V/255 = 19.6 \text{ mV}$
- Memiliki pembangkit detak (*clock*) internal yang menghasilkan frekuensi $f=1/(1,1RC)$, dengan R dan C adalah komponen eksternal.
- Memiliki koneksi ground yang berbeda antara tegangan digital dan analog. Kaki 8 adalah ground analog. Pin 10 adalah ground digital.



Gambar 2.4. Susunan kaki ADC 0804 [15]

2.4 Komunikasi Serial Asinkron

Komunikasi asinkron tidak memerlukan sinyal detak sebagai sinkronisasi, namun pengiriman data ini harus diawali dengan start bit dan diakhiri dengan stop bit seperti yang tampak pada gambar 2.5. Sinyal detak yang merupakan *baudrate* dari komunikasi data ini dibangkitkan oleh masing-masing baik penerima maupun pengirim data dengan frekuensi yang sama.



Gambar 2.5. Transmisi serial asinkron ^[11]

2.5 Baud Rate Serial

Baud rate dari Port Serial 89C51 dapat diatur pada Mode 1 dan Mode 3, namun pada Mode 0 dan Mode 2, baud rate tersebut mempunyai kecepatan yang permanen yaitu untuk Mode 0 adalah 1/12 frekuensi osilator dan Mode 2 adalah 1/64 frekuensi osilator. Dengan mengubah bit SMOD yang terletak pada Register PCON menjadi set (kondisi awal pada saat sistem reset adalah clear) maka baud rate pada Mode 1, 2 dan 3 akan berubah menjadi dua kali lipat.

Pada Mode 1 dan 3 baud rate dapat diatur dengan menggunakan Timer1. Cara yang biasa digunakan adalah Timer Mode 2 (8 bit auto reload) yang hanya menggunakan register TH1 saja. Pengiriman setiap bit data terjadi setiap Timer 1 overflow sebanyak 32 kali sehingga dapat disimpulkan bahwa:

Baud rate (jumlah bit data yang terkirim tiap detik) adalah

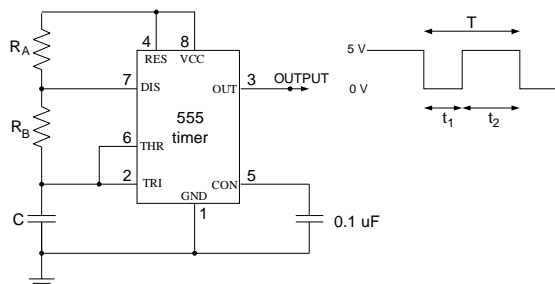
$$\frac{1}{\text{Timer 1 Overflow} \times 32}$$

Selain variabel-variabel di atas, masih terdapat sebuah variabel lagi yang menjadi pengatur baud rate serial yaitu Bit SMOD pada Register PCON. Apabila bit ini set maka faktor pengali 32 pada persamaan di atas akan berubah menjadi 16. Oleh karena itu dapat disimpulkan formula untuk baud rate serial untuk Mode 1 dan Mode 3 adalah:

$$\text{baud rate} = \frac{f_{osc}}{12 \times (256 - TH1) \times K}$$

2.6 Multivibrator Astabil dengan IC 555

IC 555 merupakan IC pewaktu dengan keluaran TTL yang dapat beroperasi dengan berbagai mode. Keluarannya adalah gelombang kotak yang terus berosilasi pada dua level tegangan dengan jarak waktu tiap level tegangan yang ditentukan oleh nilai R dan C. Jarak waktu tersebut disimbolkan dengan t_1 dan t_2 , dan periode T, yang ditunjukkan oleh gambar 2.6.



Gambar 2.6. IC 555 sebagai multivibrator astabil ^[14]

Persamaan yang digunakan adalah :

$$t_1 = 0.693 R_B C$$

$$t_2 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

$$T = t_1 + t_2$$

Sedang hal yang harus diperhatikan adalah untuk nilai $R_A \geq 1 \text{ k}\Omega$, $R_A + R_B \leq 6.6 \text{ M}\Omega$, dan $C \geq 500 \text{ pF}$.

2.7 Modulasi Digital Pengunci Pergeseran Frekuensi (Frequency Shift Keying / FSK)

Ekpresi yang umum untuk sebuah sinyal FSK biner adalah diperlihatkan pada persamaan berikut.

$$v(t) = V_C \text{Cos} \left[\left(\omega_c + \frac{fm(t)\Delta\omega}{2} \right) t \right]$$

dengan :

$v(t)$ = adalah bentuk gelombang FSK biner

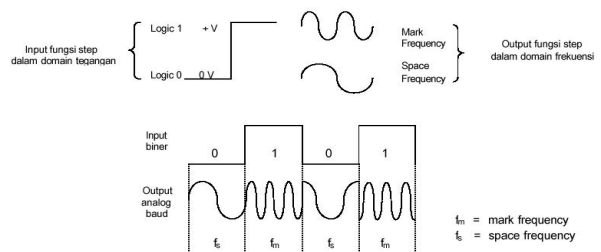
V_C = puncak amplitudo carrier tanpa termodulasi

ω_c = carrier frekuensi (dalam radian)

$fm(t)$ = frekuensi sinyal digital biner pemodulasi

$\Delta\omega$ = beda sinyal pemodulasi (dalam radian)

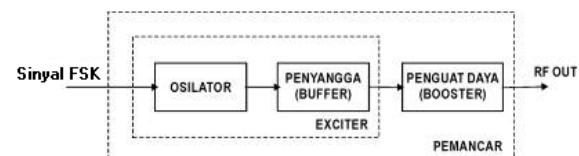
Pada sebuah modulator FSK biner, *center* dari frekuensi *carrier* tergeser (terdeviasi) oleh masukan data biner. Sebagai konsekuensinya, keluaran pada suatu modulator FSK biner adalah suatu fungsi *step* pada domain frekuensi. Sesuai perubahan sinyal masukan biner dari suatu logic 0 ke logic 1, dan sebaliknya, keluaran FSK bergeser diantara dua frekuensi: suatu *mark frekuensi* atau logic 1 dan suatu *space frekuensi* atau logic 0. Modulator FSK biner, ada suatu perubahan frekuensi keluaran setiap adanya perubahan kondisi logic pada sinyal masukan. Sebagai konsekuensinya, laju perubahan *keluaran* adalah sebanding dengan laju perubahan masukan. Laju perubahan masukan pada modulator disebut *bit rate* dan memiliki satuan *bit per second* (bps). Laju perubahan pada keluaran modulator disebut *baud* atau *baud rate* dan sebanding dengan keterkaitan waktu pada satu elemen sinyal keluaran. Sehingga, *baud rate* adalah kecepatan simbol per detik. Pada FSK biner, laju masukan dan laju keluaran adalah sama; sehingga, *bit rate* dan *baud rate* adalah sama. Suatu FSK biner secara sederhana diberikan seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Sistem modulasi FSK biner ^[1]

2.8 Pemancar FM yang dimodulasi langsung

Pemancar FM yang dimodulasi langsung secara umum terdiri dari blok-blok bagian seperti gambar 2.8.



Gambar 2.8 Blok Pemancar

Osilator

Inti dari sebuah pemancar adalah osilator. Untuk dapat membangun sistem komunikasi yang baik harus dimulai dengan osilator yang dapat bekerja dengan sempurna. Pada sistem komunikasi, osilator menghasilkan gelombang sinus yang dipakai sebagai sinyal pembawa. Sinyal informasi kemudian ditumpangkan pada sinyal pembawa dengan proses modulasi.

Penyangga

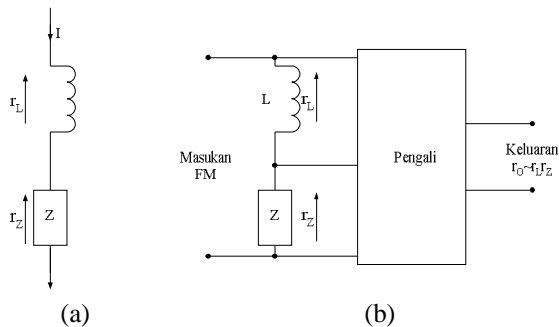
Semua jenis osilator membutuhkan penyangga. Penyangga berfungsi untuk menstabilkan frekuensi dan/atau amplitudo osilator akibat dari pembebanan tingkat selanjutnya. Biasanya penyangga terdiri dari 1 atau 2 tingkat penguat transistor yang dibias sebagai kelas A.

Penguat Daya

Sinyal yang didapat dari exciter masih relatif lemah. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar dibutuhkan penguat daya frekuensi radio.

2.9 Detektor FM Reaktif (Quadrature Detector)

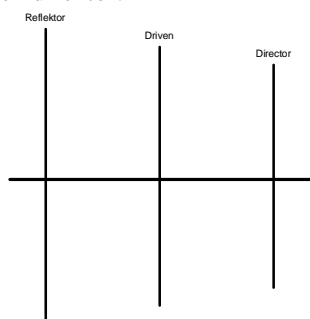
Detektor FM jenis ini bergantung pada hubungan frekuensi/sudut fasa dari rangkaian tala, tetapi mempunyai kelebihan dalam hal rangkaian tala yang diperlukan hanya satu buah saja. Karena itu rangkaian ini menjadi semakin populer dalam strip-strip FM yang diintegrasikan (Integrated FM strips).



Gambar 2.9. (a) Rangkaian untuk memperoleh pergeseran fasa dalam sebuah detektor reaktif
(b) Skema blok detektor reaktif dasar

2.10 Antena Yagi

Antena yagi minimal terdiri dari dua elemen, yaitu elemen driven dan elemen reflektor. Yagi 3 elemen memiliki 1 elemen driven, 1 elemen reflektor, dan 1 elemen direktor. Sedangkan antena yagi 4 elemen atau lebih memiliki 1 elemen driven, 1 elemen reflektor dan 1 atau lebih elemen direktor.



Gambar 2.10 Antena yagi 3 elemen

Bahan tiap elemen bisa digunakan tabung-tabung aluminium. Panjang jarak antar elemen antena yagi sudah tertentu, seperti rumus berikut.

$$\text{Panjang reflektor} = \frac{153}{F} \text{ meter}$$

$$\text{Panjang driven} = \frac{144}{F} \text{ meter}$$

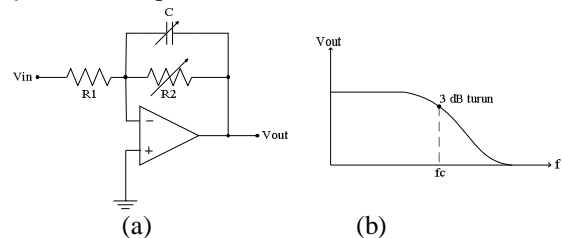
$$\text{Panjang direktor} = \frac{133}{F} \text{ meter}$$

Dengan \$F\$ (frekuensi) dalam MHz. [5] [9]

2.11 Tapis Pelewat Frekuensi Rendah (Low Pass Filter / LPF)

Gambar 2.11 a menunjukkan sebuah LPF aktif. Pada frekuensi rendah kapasitor tampak terbuka, dan rangkaian bekerja seperti penguat inverting dengan penguatan tegangan $-R_2 / R_1$. Jika frekuensi bertambah, reaktansi kapasitif berkurang, menyebabkan penguatan tegangan turun (*drop off*). Jika frekuensi mendekati tak terhingga, kapasitor menjadi seperti terhubung singkat dan penguatan tegangan mendekati nol.

Gambar 2.11 b melukiskan respon keluaran. Sinyal keluaran maksimum pada frekuensi rendah. Jika frekuensi mencapai frekuensi kritis atau sumbat, keluaran turun 3 dB. Di bawah frekuensi ini, penguatan menurun pada kelajuan ideal sebesar 20 dB per decade atau 6 dB per *oktaf* (factor dua perubahan dalam frekuensi).



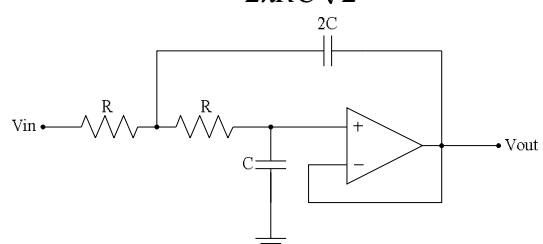
Gambar 2.11 (a) Tapis frekuensi rendah aktif.
(b) respon keluaran

Frekuensi sudut (*corner frequency*) terjadi jika :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$

Dengan menambah lebih banyak komponen, laju penurunan dapat ditambah, seperti ditunjukkan gambar. Pada frekuensi rendah kedua kapasitor menjadi seperti terbuka, dan rangkaian menjadi seperti pengikut tegangan. Jika frekuensi bertambah, penguatan akhirnya break dan turun 3 dB pada \$f_c\$. Karena kedua kapasitor inilah maka laju penurunan idealnya 40 dB per dekade. Dengan penurunan lebih lanjut, dapat ditunjukkan bahwa

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{2}}$$

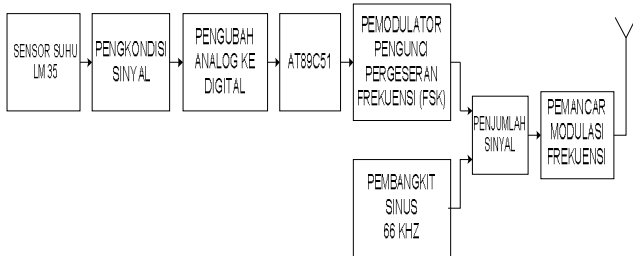


Gambar 2.13 . Tapis Frekuensi Rendah [7]

III. PERANCANGAN ALAT DAN PERANGKAT LUNAK

3.1 Bagian Pengirim

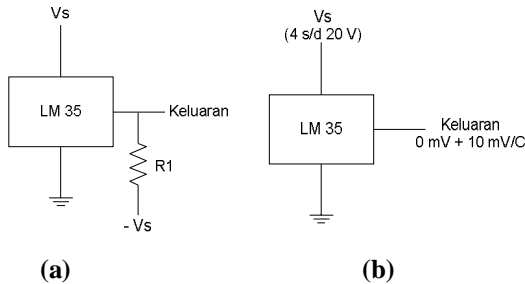
Bagian pengirim ini terdiri dari sensor LM35, pengkondisi sinyal, pengubah analog ke digital (ADC), mikrokontroler sebagai pengubah data paralel menjadi serial UART, pemodulasi pengunci pergeseran frekuensi (FSK), pembangkit sinyal sinus sebagai sinyal penanda, dan pemancar modulasi frekuensi.



Gambar 3.1 Blok diagram pengirim

3.1.1 Sensor Suhu LM 35

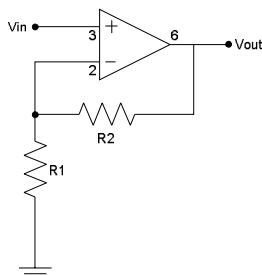
LM 35 memiliki jangkauan maksimum antara -55°C sampai dengan 150°C jika dikonfigurasi seperti gambar 3.2a. Sedang pada tugas akhir ini LM 35 hanya digunakan untuk jangkauan suhu antara 0°C sampai dengan 150°C, seperti ditunjukkan gambar 3.2b. Keluaran tegangan maksimum LM 35 adalah sekitar 1,5 V.



Gambar 3.2. (a) Konfigurasi LM 35 untuk jangkauan suhu maksimum [15]
(b) Konfigurasi dasar LM 35 [15]

3.1.2 Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal ini merupakan rangkaian penguat tegangan dengan menggunakan penguat operasional tak membalik seperti gambar berikut ini,



Gambar 3.3 Pengkondisi Sinyal dengan IC LF351 [7]

Tegangan keluaran maksimum yang diinginkan adalah 5 Volt, sedang tegangan masukan pengkondisi sinyal yang merupakan tegangan keluaran sensor hanya memiliki nilai maksimum sebesar 1,5 V. sehingga diperlukan penguatan sebesar ;

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{5}{1,5} = 3,333$$

Sehingga dari persamaan 1 pada bab 2 diperoleh nilai-nilai R1 dan R2 sebagai berikut :

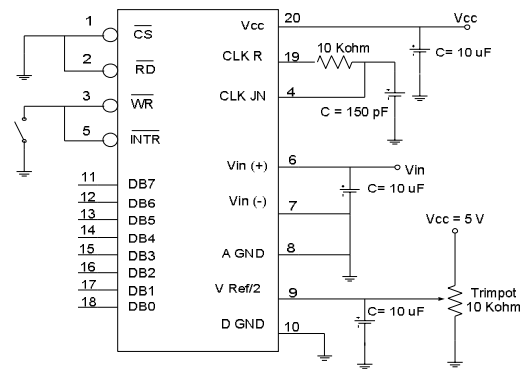
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1} + 1 = 3,333$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 2,333$$

Diambil nilai R1 sebesar 2,2 kΩ, maka nilai R2 sebesar 5,13 kΩ.

3.1.3 Pengubah Analog ke Digital (ADC)

ADC pada rancangan ini digunakan untuk mengubah masukan analog keluaran pengkondisi sinyal menjadi data digital 8 bit. Tipe ADC yang digunakan adalah ADC 0804 pada mode kerja *free running*. Rangkaian *free running* ADC 0804 ditunjukkan pada Gambar 3.4

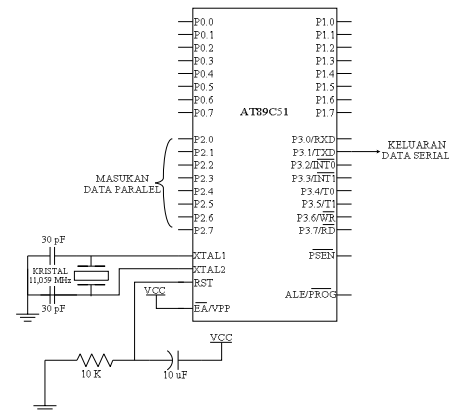


Gambar 3.4 Rangkaian *free running* ADC [14]

3.1.4 Pengubah Data Paralel 8 Bit menjadi Data Serial UART dengan Mikrokontroler AT89C51

3.1.4.1 Perangkat Keras

Data 8 bit keluaran dari pengubah analog ke digital (ADC) 8 bit menjadi masukan mikrokontroller untuk diubah menjadi data serial UART dengan menggunakan mikrokontroler AT89C51. Rangkaian ini ditunjukkan oleh gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5. Sistem minimum AT89C51 [11]

3.1.4.2 Perangkat Lunak

Inti dari perangkat lunak ini adalah untuk mengubah data paralel menjadi data serial UART. Port serial akan digunakan dengan konfigurasi 8 bit UART

dengan baud rate 600 baud menggunakan timer 1 untuk menghasilkan detak baudrate.

TH1 diisi dengan nilai yang sesuai dengan baudrate yang diinginkan yaitu 600 baud, dengan demikian isi TH1 adalah

$$TH1 = 256 - \frac{(K \cdot \text{Frekuensi Osilator})}{(384 \cdot \text{Baud Rate})}$$

$$= 256 - \frac{1 \times 11,0592 \text{ MHz}}{384 \times 600} = 208 \text{ desimal}$$

Sehingga TH1 = 208 desimal = D0 H. Nilai K = 1 karena nilai SMOD tidak ditentukan secara software sehingga SMOD = 0. Sehingga $K=2^0=1$.

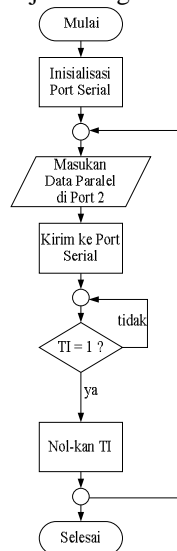
Berikut adalah program untuk inialisasi port serial adalah :

```
org 00h
init: mov tmod, #020h
      mov th1, #0D0h
      mov scon, #50h
      setb tr1
```

Sedang untuk mengubah data paralel menjadi serial adalah sebagai berikut:

```
ubah: mov a, p2
      mov sbuf, a
      jnb ti, $
      clr ti
      sjmp ubah
      end
```

Inti dari senarai di atas adalah data masukan paralel 8 bit masuk ke port 2 mikrokontroler kemudian menyimpannya dalam akumulator. Isi akumulator dikirim ke sbuf yang akan mengirimkan data karakter keluar melalui port serial. Jika sudah selesai dikirim maka nilai TI = 1. Untuk dapat mengirimkan data lagi maka TI harus di nol kan lagi. Kemudian mengulangi konversi. Adapun diagram alir dari program tersebut ditunjukkan gambar.

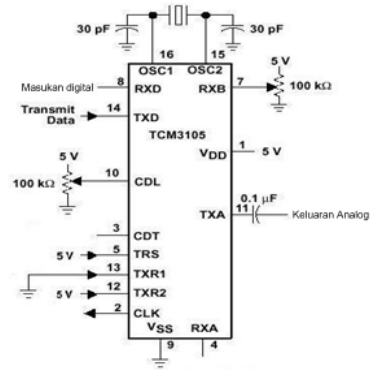


Gambar 3.6. Diagram Alir Program Mikrokontroler

3.1.5 Modulator Pengunci Pergeseran Frekuensi (Frequency Shift Keying / FSK)

Untuk mengirimkan bit-bit digital maka diperlukan suatu sistem modulasi digital yang dapat mengkonversi bit-bit tersebut ke dalam bentuk sinyal analog. Modulasi digital yang dipakai ialah sistem FSK dengan menggunakan rangkaian terintegrasi tipe TCM3105.

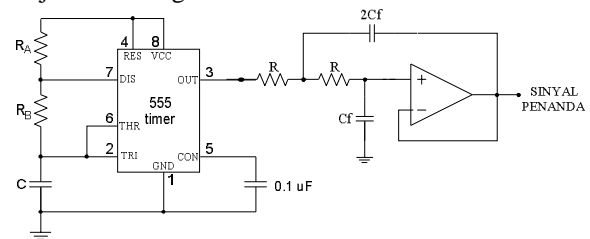
Gambar 3.7 adalah rangkaian lengkap modulator FSK.



Gambar 3.7 Rangkaian Modulator FSK dengan TCM3105 [16]

3.1.6 Pembangkit Sinyal Penanda

Sinyal penanda digunakan sebagai indikator untuk membedakan sinyal informasi dengan sinyal-sinyal lainnya, sehingga hanya sinyal informasi yang diinginkan yang dapat diterima oleh stasiun penerima. Adapun gambar rangkaian pembangkit sinyal penanda ini ditunjukkan oleh gambar 3.8.



Gambar 3.8. Pembangkit Sinyal Penanda

Nilai-nilai komponen yang digunakan adalah komponen yang dapat ditemukan dipasaran. Sehingga besar frekuensi adalah nilai pendekatan dari nilai yang diinginkan.

Nilai untuk $R_A=1 \text{ k}\Omega$, $R_B=12\text{k}\Omega$ dan $C=1 \text{ nF}$.

Sehingga besarnya frekuensi sinyal penanda adalah :

$$t_1 = 0,693 \cdot R_B \cdot C = 0,693 \cdot 12 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ nF} = 8,316 \mu\text{s}$$

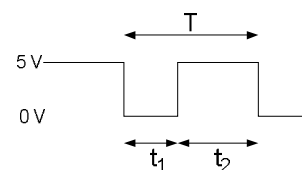
$$t_2 = 0,693 \cdot (R_A + R_B) \cdot C = 0,693 \cdot (12 + 1) \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ nF} = 9,009 \mu\text{s}$$

$$T = t_1 + t_2 = 8,316 \mu\text{s} + 9,009 \mu\text{s} = 17,325 \mu\text{s}$$

Sehingga besarnya frekuensi;

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{17,325 \mu\text{s}} = 58 \text{ KHz}$$

Disini sinyal yang dihasilkan adalah sinyal kotak seperti gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3.9. Keluaran dari IC 555

Kemudian dari keluaran IC 555 tersebut dilewatkan tapis pelewat frekuensi rendah yang memiliki frekuensi cut off

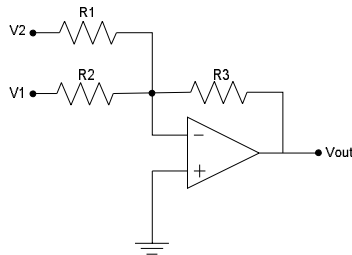
lebih kecil dari 58 kHz untuk dapat menghasilkan sinyal sinus. Sehingga frekuensi cut off nya ditentukan sebesar 50 kHz.

Nilai R = 15 kΩ dan Cf = 150 pF, sehingga nilai frekuensi cut off dapat dihitung ;

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{2}} = \frac{1}{2\pi(15k)(150p)\sqrt{2}} = 50050,5 \text{ Hz} \approx 50 \text{ KHz}$$

3.1.7 Penjumlah Sinyal

Penjumlah sinyal ini digunakan untuk menjumlahkan sinyal penanda dan sinyal FSK sebelum masuk ke pemancar FM. Rangkaiannya adalah seperti ditunjukkan gambar 3.10.



Gambar 3.10. Penjumlah sinyal [7]

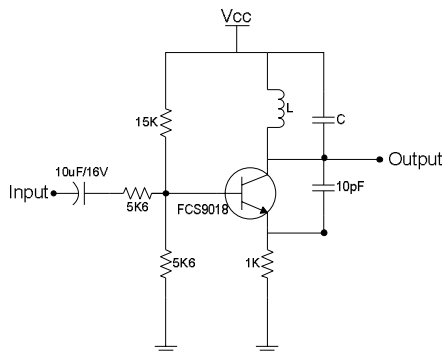
Nilai R₁=R₂=R₃=10 kΩ. Nilai-nilai tersebut dipilih nilai yang sama karena diinginkan keluaran tanpa penguatan dan membalik. Pembalikan fasa pada sinyal keluaran dibandingkan sinyal masukan tidak mempengaruhi sinyal informasi, karena nantinya hanya frekuensinya yang dideteksi.

3.1.8 Pemancar Modulasi Frekuensi

Pemancar FM ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu osilator, penyangga (buffer) dan penguat daya.

3.1.8.1 Osilator

Osilator yang digunakan adalah osilator LC dengan bentuk rangkaian seperti ditunjukkan gambar 3.11.



Gambar 3.11. Osilator Pemancar FM

Osilator ini diinginkan menghasilkan frekuensi osilasi (fo) sebesar 110MHz. Sehingga nilai L dan C dapat dicari dengan menggunakan rumus frekuensi resonan dari rangkaian tangki paralel.

Untuk memudahkan penghitungan nilai C ditetapkan dengan nilai yang mudah dicari dipasaran. Pada rangkaian ini menggunakan kapasitor sebesar 10 pF, sehingga nilai L dapat dicari.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

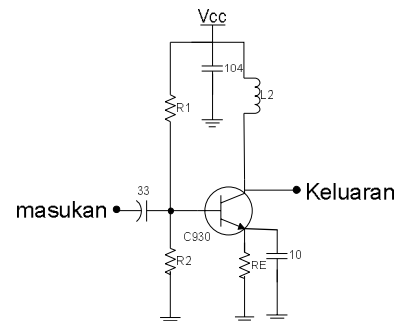
$$110\text{MHz} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot 10 \cdot 10^{-12}}}$$

$$L = 0,21 \text{ uH}$$

Karena sulit mencari nilai induktor yang tepat, maka menggunakan induktor variabel.

3.1.8.2 Rangkaian Penyangga (Buffer)

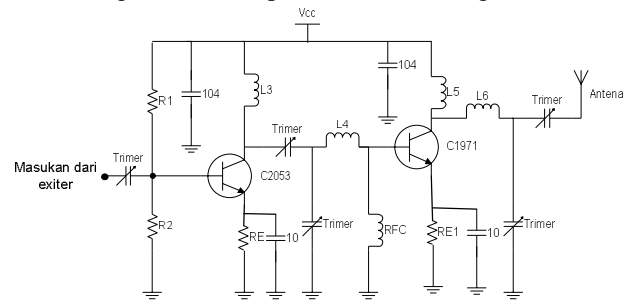
Penyangga berfungsi untuk menstabilkan frekuensi dan/atau amplitudo osilator akibat dari pembebanan tingkat selanjutnya. Pada tugas akhir ini menggunakan penguat kelas A sebagai penyangga seperti ditunjukkan gambar 3.12. Osilator yang dilengkapi dengan penyangga biasanya disebut sebagai exciter. Exciter sebenarnya sudah bisa dipakai sebagai pemancar FM dengan daya yang relatif kecil.



Gambar 3.12 Rangkaian Penyangga (Buffer)

3.1.8.3 Penguat Daya

Sinyal yang didapat dari exciter masih relatif lemah. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar dibutuhkan penguat daya frekuensi radio. Pada tugas akhir ini rangkaian penguat daya yang digunakan adalah dua tingkat, yang pertama menggunakan transistor C2053, dan diikuti dengan C1971, seperti terlihat dalam gambar 3.13.



Gambar 3.13 Penguat Daya

3.1.9 Antena Yagi

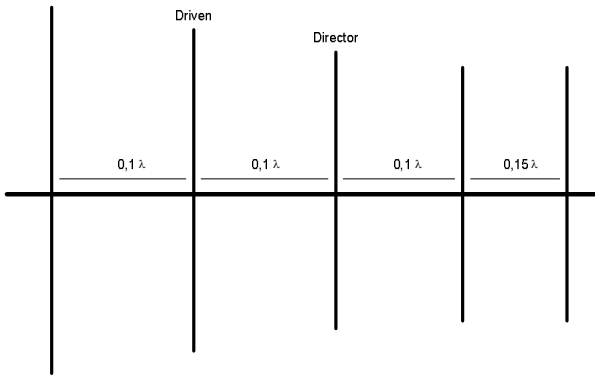
Pada antena yagi terdiri dari 3 elemen utama. Panjang elemen ini bergantung pada frekuensi yang digunakan, yaitu 110 MHz, sehingga panjang tiap-tiap elemennya adalah sebagai berikut :

$$\text{Panjang reflektor} = \frac{153}{110} \text{ meter} = 1,39 \text{ meter}$$

$$\text{Panjang driven} = \frac{144}{110} \text{ meter} = 1,30 \text{ meter}$$

$$\text{Panjang direktor} = \frac{133}{110} \text{ meter} = 1,20 \text{ meter}$$

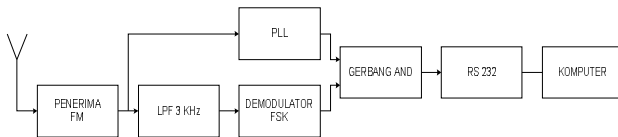
Sedang jarak tiap elemen seperti terlihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Antena yagi

3.2 Bagian Penerima

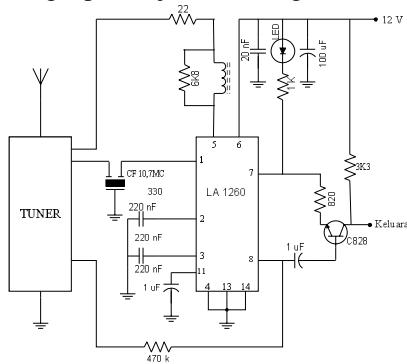
Bagian penerima ini terdiri dari penerima FM, PLL, tapis pelewat frekuensi rendah 3 KHz, demodulator FSK, gerbang NAND dan RS 232. Adapun diagram untuk bagian penerima ini ditunjukkan oleh gambar 3.18.



Gambar 3.15. Blok Diagram Penerima

3.2.1 Penerima FM

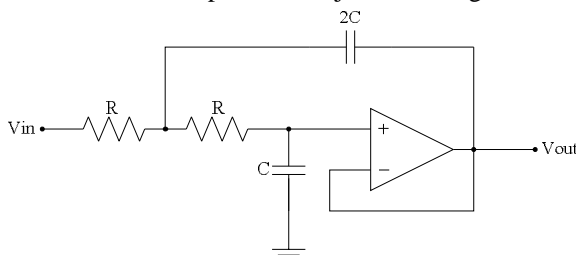
Penerima FM ini menggunakan tuner dan sebuah IC LA 1260 sebagai IC demodulator FM. Tuner yang digunakan adalah tuner build up, yang menghasilkan sinyal IF, yang kemudian diolah oleh IC LA1260, rangkaian lengkap ditunjukkan oleh gambar 3.16.



Gambar 3.16 Penerima FM [16]

3.2.2 Tapis Pelewat Frekuensi Rendah 4 KHz

Tapis ini digunakan untuk memisahkan sinyal informasi dari sinyal penanda, sebelum sinyal informasi yang berbentuk sinyal analog diubah menjadi digital oleh demodulator FSK. Tapis ini ditunjukkan oleh gambar 3.17.



Gambar 3.17. Tapis pelewat frekuensi rendah [7]

Nilai-nilai komponen yang digunakan pada tapis pelewat frekuensi rendah tersebut adalah

Nilai $R = 3 \text{ k}\Omega$ dan $C = 10 \text{ nF}$, sehingga nilai frekuensi cut off dapat dihitung ;

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{2}} = \frac{1}{2\pi(3\text{k}\Omega)(10\text{nF})\sqrt{2}} = 3753,78 \text{ Hz} \approx 4 \text{ KHz}$$

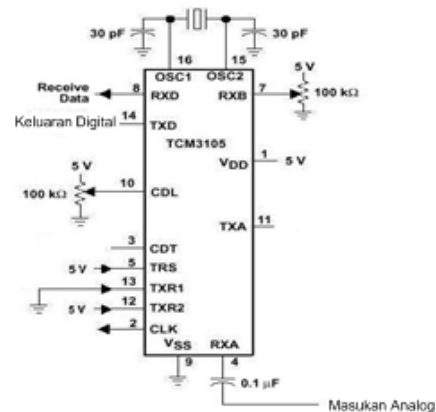
3.2.3 Demodulator FSK

Menurut standar CCITT untuk mengatur mode operasi penerimaan pada demodulator FSK yang menggunakan IC TCM3105 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Mode operasi demodulator FSK pada TCM3105

TRS	TXR1	TXR2	Baudrate	Frekuensi	
				mark	space
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1200	1300	2100
H	L	L	75	390	450
L	L	H	75	390	450
H	L	H	600	1300	1700
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1200	1300	2100
H	H	L	600	1300	1700
L	H	H	75	390	450

Mode operasi tersebut digunakan untuk mengatur *baudrate* pada demodulatornya. Dalam penerimaan data menggunakan *baudrate* sebesar 1200 bps sehingga TRS, TXR1, dan TXR2 diberi masukan logika rendah (L). Atau TRS diberi masukan logika rendah (L), TXR1 diberi masukan logika tinggi (H) dan TXR2 diberi masukan logika rendah (L).

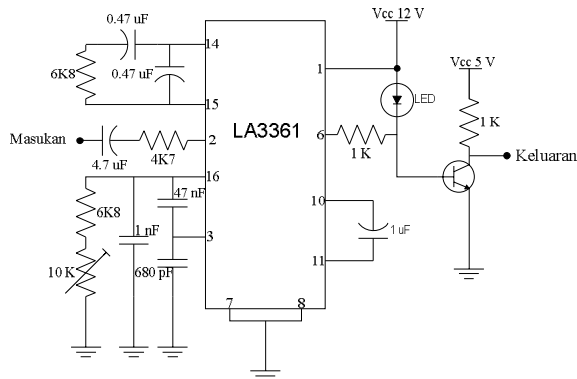


Gambar 3.18 Rangkaian lengkap Demodulator FSK dengan IC TCM3105 [16]

3.2.4 Pendeteksi Sinyal Penanda

Pendeteksi sinyal ini digunakan untuk mendeteksi sinyal yang diinginkan, sehingga pada saat sinyal yang diterima adalah sinyal informasi maka led akan menyala..

Sedangkan untuk mengatur supaya led hanya menyala jika ada sinyal 58 KHz. Maka resistor variable pada pin 16 IC LA3361 perlu diset dengan cara memutarnya sampai nilai yang diinginkan diperoleh.



Gambar 3.19 Pendeteksi sinyal 58 KHz [16]

3.2.5 Pengkondisi Penerimaan

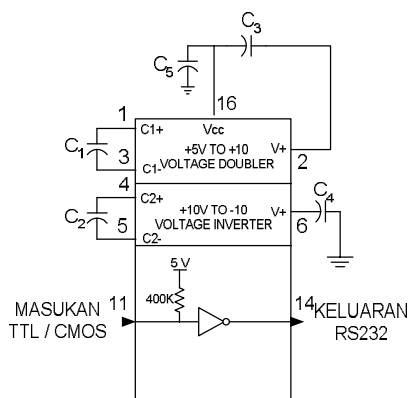
Pengkondisi penerimaan berfungsi untuk menonaktifkan data masukan saat tidak ada sinyal penanda. Keluaran dari demodulator FSK adalah data acak bila masukannya adalah sinyal acak. Hal ini tentunya akan mengganggu pada sistem penerima jika data acak tersebut dikenali sebagai informasi.

Rangkaian gerbang AND digunakan untuk pengkondisi penerimaan. Salah satu masukannya adalah dari PLL pendeteksi sinyal penanda. Bila dalam keadaan ada sinyal penanda, PLL terkunci fasa (*lock*) maka akan memberikan masukan tinggi. Masukan satunya lagi adalah dari keluaran demodulator FSK. Keluaran dari gerbang adalah data yang akan dimasukkan pada RS232.

Dari uraian di atas jelas bahwa data hanya akan keluar bila ada sinyal penanda. Bila tidak ada maka keluarannya adalah *Low*.

3.2.6 RS 232

Bagian ini menggunakan rangkaian terintegrasi (IC) jenis MAX232, yang memang berfungsi untuk mengubah aras tegangan TTL menjadi aras tegangan RS232, dan sebaliknya. Dalam tugas akhir ini menggunakan sistem komunikasi *simplex* sehingga MAX232 difungsikan untuk mengubah dari aras tegangan logika TTL menjadi aras tegangan logika komputer (RS232).



Gambar 3.20 Antarmuka serial RS232 dengan IC MAX232 [16]

3.2.7 Program Penampil Suhu pada Komputer

Data keluaran RS232 masuk ke komputer melalui port serial, yang kemudian akan diolah dengan menggunakan program Visual Basic 6.

Untuk penerimaan data menggunakan perintah :

Data = asc(MSComm1.Input)

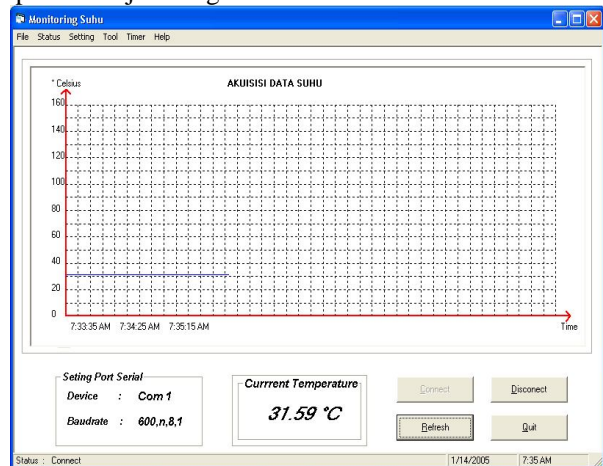
Variabel data di atas sudah langsung dalam bentuk desimal sehingga langsung dapat diolah atau dikonversi menjadi suhu dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$V_{penguat} = \text{Data} * (5/255)$$

$$V_{sensor} = V_{penguat} * (1.5 / 5)$$

$$\text{suhu} = V_{sensor} / 0.01$$

Vpenguat adalah Tegangan keluaran dari pengkondisi sinyal, yang merupakan hasil penguatan sebesar 5/1,5 kali dari tegangan sensor (V_{sensor}). Sehingga Tegangan sensor dapat dihitung dengan persamaan baris kedua dari penggalan program di atas. Sehingga dari tegangan sensor dapat diketahui suhunya. Setiap 10 mV atau 0,01 V adalah 1°C. Kemudian data suhu tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik real time seperti ditunjukkan gambar berikut.



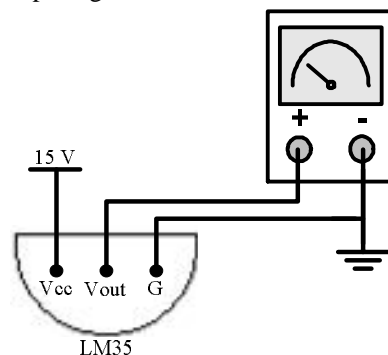
Gambar 3.21 Tampilan Program Visual Basic

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

4.1 Pengujian dan Analisis bagian pengirim

4.1.1 Pengujian dan Analisis Sensor Suhu LM35

Sensor suhu yang digunakan adalah LM35, sensor ini dikonfigurasi untuk dapat mendeteksi suhu antara 0° sampai 150° C. Sensor LM35 menunjukkan bahwa setiap kenaikan 10 mV mewakili kenaikan suhu 1°C. Untuk menguji sensor LM35 dilakukan dengan cara seperti terlihat pada gambar 4.1.

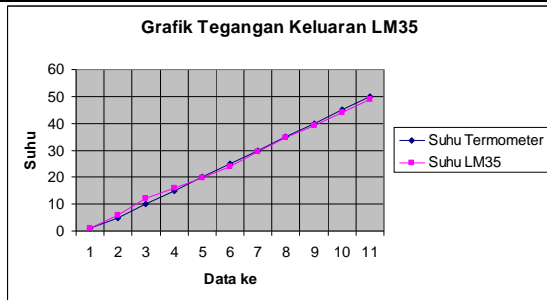


Gambar 4.1. Pengujian LM35

Hasil pengukuran tegangan LM35 dan pengukuran suhu dengan termometer terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian LM35

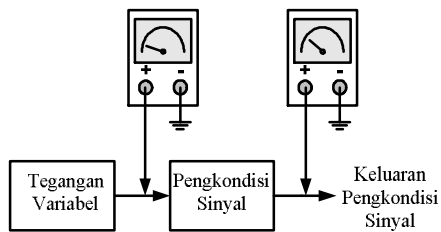
Suhu Termometer (°C)	Tegangan Keluaran LM 35	Konversi Tegangan ke Suhu dari LM 35 (°C)
1	0.012	1.2
5	0.058	5.8
10	0.113	11.3
15	0.160	16.0
20	0.199	19.9
25	0.241	24.1
30	0.294	29.4
35	0.346	34.6
40	0.393	39.3
45	0.441	44.1
50	0.488	48.8



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Pengamatan Suhu dengan Termometer dan LM35

4.1.2 Pengujian dan Analisis Blok Pengkondisi Sinyal

Pengujian pengkondisi sinyal ini adalah dengan cara memberi tegangan masukan variabel antara 0 V sampai dengan 1,5V sesuai dengan jangkauan tegangan keluaran sensor suhu LM35. Pengkondisi sinyal merupakan penguat operasional dengan penguatan sebesar 3,33. Adapun pengujian blok ini ditunjukkan oleh gambar 4.3.

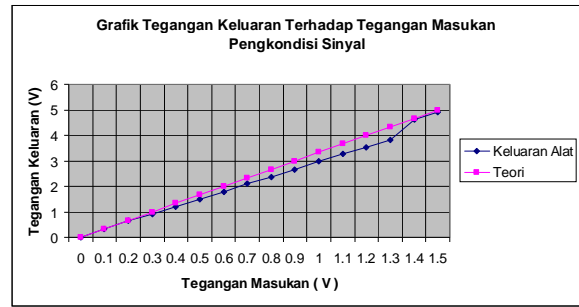


Gambar 4.3. Pengujian Pengkondisi sinyal

Hasil Pengujian pengkondisi sinyal ini ditunjukkan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pengkondisi Sinyal

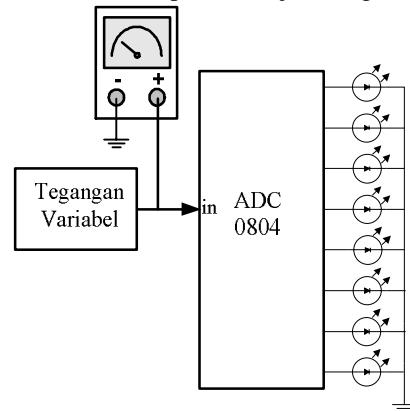
Tegangan Masukan (V in)	Tegangan Keluaran Teoritis (V)	Tegangan Keluaran (V out)
0.0	0.000	0.00
0.1	0.330	0.33
0.2	0.660	0.66
0.3	0.990	0.91
0.4	1.332	1.21
0.5	1.665	1.50
0.6	1.998	1.79
0.7	2.331	2.10
0.8	2.664	2.37
0.9	2.997	2.67
1.0	3.330	2.98
1.1	3.663	3.26
1.2	3.996	3.54
1.3	4.329	3.82
1.4	4.662	4.61
1.5	4.995	4.91



Gambar 4.4. Grafik Tegangan Keluaran Terhadap Tegangan Masukan Pengkondisi Sinyal

4.1.3 Pengujian dan Analisis Blok Pengubah Analog ke Digital (ADC)

ADC yang digunakan adalah ADC0804 dengan mode *free running* yaitu tanpa pengontrolan dari luar, sehingga ADC akan mengubah data analog menjadi data digital secara terus menerus. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan pin masukan ADC dengan tegangan variabel, dan menghubungkan 8 bit keluaran dengan indikator LED seperti ditunjukkan gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pengujian blok ADC

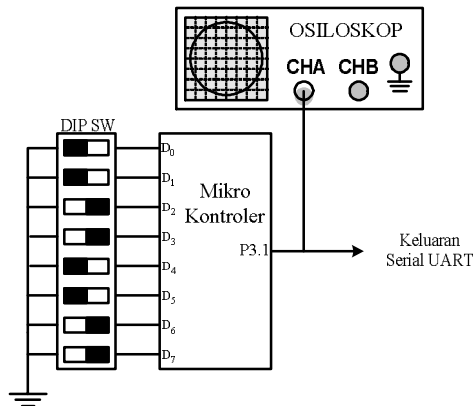
Hasil pengujian blok ADC ini ditunjukkan tabel 4.3, pada datasheet ADC0804 menunjukkan bahwa kesalahan maksimum kurang lebih 1,5 bit. Hal ini sesuai dengan tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian ADC.

Tegangan Masukan Vin	Keluaran Biner 8 Bit	Keluaran dalam Desimal	Teoritis (Desimal)=(Vin/5)*255V
0.0	00000000	0	0
0.5	00011001	25	25.5
1	00110100	52	51
1.5	01001100	76	76.5
2	01100101	101	102
2.5	01111111	127	127.5
3	10011000	152	153
3.5	10110010	178	178.5
4	11001011	203	204
4.5	11100100	228	229.5
5	11111111	255	255

4.1.4 Pengujian dan Analisis Blok Pengubah Data Paralel Menjadi Serial UART

Pengujian blok ini dengan menggunakan data paralel 11001100. Data paralel ini diambil dengan menggunakan saklar dip 8 bit. Kemudian data serial UART diamati dengan menggunakan osiloskop seperti ditunjukkan gambar 4.6..



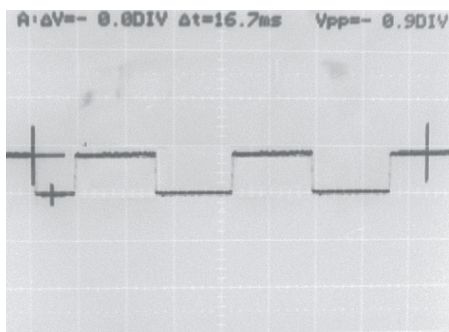
Gambar 4.6 Pengujian Blok Mikrokontroler

Pengujian dilakukan dengan menggunakan program sebagai berikut :

```

org 00h
init: mov tmod,#020h
      mov th1,#0D0h
      mov scon,#50h
      setb tr1
ubah: mov a,p2
      mov sbuf,a
      jnb ti,$
      clr ti
      setb P3.1
      acall delay
      sjmp ubah
delay: mov R7,#255h
      djnz r7,delay
      ret
      end
  
```

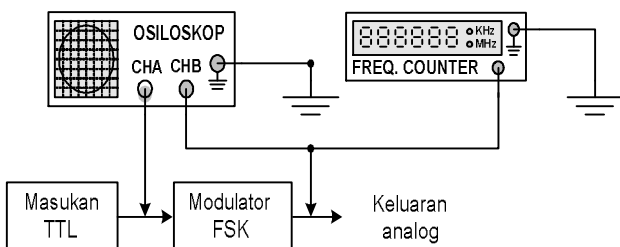
Hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Sinyal UART dengan masukan 11001100

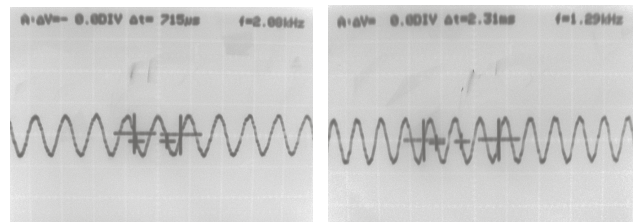
4.1.5 Pengujian dan Analisis Blok Modulator FSK (Frequency Shift Keying)

Untuk menguji blok ini dapat dilakukan dengan cara seperti yang terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengujian rangkaian modulator FSK

Foto bentuk sinyal masukan dan sinyal keluaran dari blok modulator FSK pada osiloskop ditunjukkan oleh Gambar 4.9.

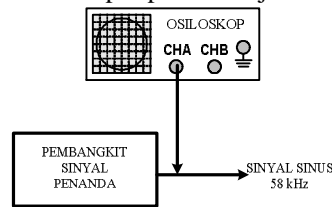


Gambar 4.9 (a) Keluaran saat masukan 0.
(b) Keluaran saat masukan 1.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa saat mendapat masukan 0 maka pada keluaran modulator FSK adalah berupa sinyal sinus dengan frekuensi 2100 Hz dan pada saat mendapat masukan 1 akan mengeluarkan sinyal sinus dengan frekuensi sebesar 1300 Hz.

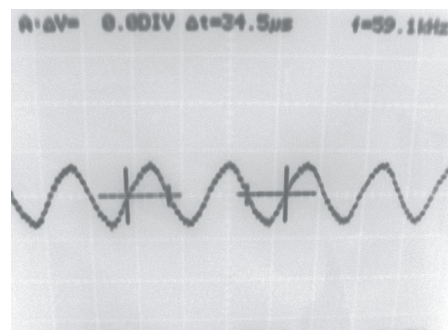
4.1.6 Pengujian dan Analisis Blok Pembangkit Sinyal Penanda

Pengujian blok ini adalah dengan mengamati frekuensi tegangan keluaran pembangkit sinyal ini menggunakan osiloskop seperti ditunjukkan gambar 4.10.



Gambar 4.10. Pengujian Blok Sinyal Penanda

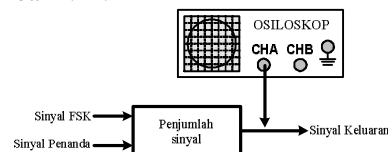
Hasil yang diperoleh ditunjukkan gambar 4.11. Frekuensi yang didapat tidak tepat seperti hasil perhitungan. Hal ini disebabkan adanya nilai toleransi pada komponen yang digunakan.



Gambar 4.11. Foto keluaran blok pembangkit sinyal penanda

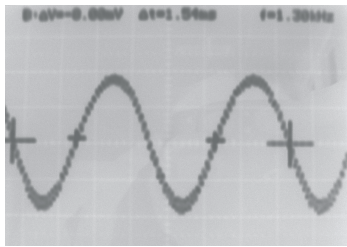
4.1.7 Pengujian dan Analisa Blok Penjumlah Sinyal

Pengujian blok ini dilakukan dengan cara mengamati sinyal keluaran blok ini dengan osiloskop, seperti gambar 4.12.



Gambar 4.12. Pengujian Blok Penjumlah Sinyal

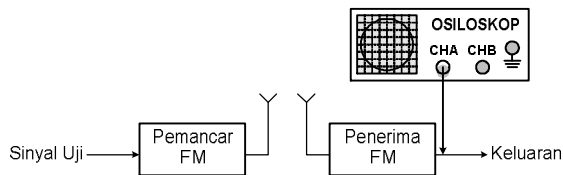
Sinyal keluaran merupakan penjumlahan sinyal FSK dengan sinyal penanda. Sinyal keluaran akan terlihat seperti gambar 4.13.



Gambar 4.13. Foto Keluaran Penjumlah Signal

4.1.8 Pengujian dan Analisa Blok Pemancar FM dan Antena

Pengujian Blok Pemancar FM dan antena ini seperti gambar 4.14 adalah dengan memberi sinyal uji pada Pemancar FM dan melihat keluaran pada penerima FM.



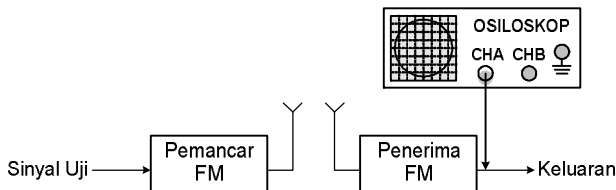
Gambar 4.14 Pengujian Pemancar FM

Pengujian pemancar FM dilakukan bersamaan dengan penerima FM. Pemancar FM diberi masukan sinyal uji dengan frekuensi 1300 Hz mewakili sinyal mark FSK dan 2100 Hz mewakili space FSK. Pada penerima FM keluar sinyal seperti gambar 4.16, sehingga pemancar berfungsi dengan baik.

4.2 Pengujian dan Analisis Bagian Penerima

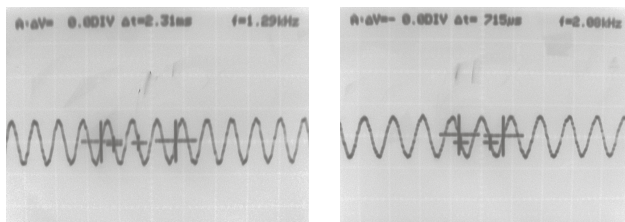
4.2.1 Pengujian dan Analisis Penerima FM

Pengujian rangkaian ini dilakukan pada saat yang bersamaan dengan pengujian blok pemancar FM. Cara yang dilakukan adalah dengan memutar tuner sampai ditemukan frekuensi pemancar FM, dan melihat keluarannya pada osiloskop, seperti ditunjukkan gambar 4.15.



Gambar 4.15 Pengujian Blok Penerima FM

Sinyal uji yang digunakan adalah sinyal sinus dari audio generator dengan frekuensi 1300 Hz dan 2100 Hz. Kedua frekuensi ini digunakan dengan maksud untuk mewakili sinyal FSK (mark dan space) yang akan dimodulasi frekuensi. Dari gambar 4.16 terlihat bahwa penerima FM berfungsi dengan baik

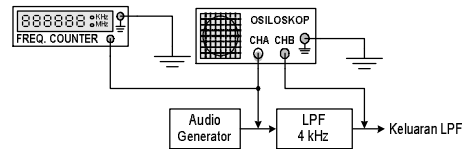


Gambar 4.16. Foto Keluaran Penerima FM
(a) frekuensi mark. (b) frekuensi space.

4.2.2 Pengujian dan Analisis Tapis Lolos Frekuensi Rendah 4 KHz

Pengujian rangkaian tapis lolos frekuensi rendah ini dilakukan dengan jalan memberikan masukan gelombang sinus dengan frekuensi tertentu (dalam pengujian yang penulis lakukan frekuensi masukannya adalah 0 KHz sampai 8 KHz) dan tegangan tertentu (pada pengujian ini tegangan masukan adalah 2 Vpp). Kemudian tegangan keluaran dari rangkaian tapis diukur menggunakan osiloskop seperti pada Gambar 4.17. Selanjutnya dihitung penguatannya dalam dB dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A = 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ dB}$$

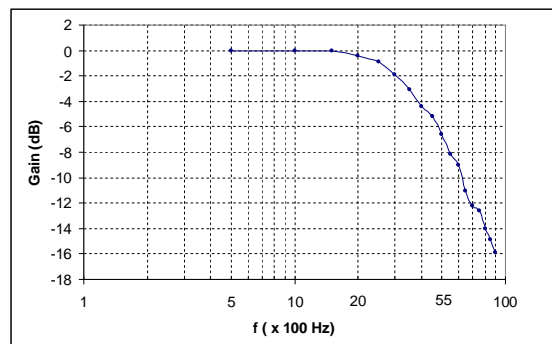


Gambar 4.17 Pengujian rangkaian LPF 4 kHz

Hasil pengujian tanggapan tapis lolos frekuensi rendah ini dengan masukan tetap sebesar 2 Vpp ditunjukkan oleh Tabel 4.4 lengkap dengan hasil perhitungan gain yang terjadi.

Tabel 4.4 Tanggapan tapis lolos frekuensi rendah 4 kHz Untuk Tegangan Masukan 2 Vpp

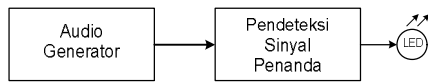
f (KHz)	V _{out} (mV)	Gain (dB)
0.5	2000	0
1	2000	0
1.5	2000	0
2	1900	-0.44553
2.5	1800	-0.91515
3	1600	-1.9382
3.5	1400	-3.09804
4	1200	-4.43697
4.5	1100	-5.19275
5	940	-6.55804
5.5	780	-8.17871
6	710	-8.99543
6.5	560	-11.0568
7	490	-12.2167
7.5	470	-12.5786
8	400	-13.9794
8.5	360	-14.8945
9	320	-15.9176



Gambar 4.18 Tanggapan tapis lolos pita 4 kHz

4.2.3 Pengujian dan Analisis Blok Pendeteksi Sinyal Penanda

Pengujian Blok ini adalah dengan cara memberi masukan sinyal sinus dengan AFG. Kemudian pada indikator LED diamati kondisi logikanya, seperti ditunjukkan gambar 4.19..

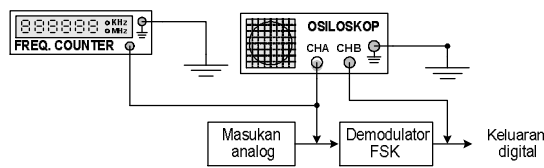


Gambar 4.19 Pengujian rangkaian Pendeteksi Sinyal Penanda

Pada *Audio Generator* diatur pada frekuensi 58 kHz, maka akan terlihat bahwa LED akan menyala, dan LED akan mati untuk frekuensi yang lain.

4.2.3 Pengujian dan Analisis Blok Demodulator FSK (Frequency Shift Keying)

Untuk menguji blok ini dapat dilakukan dengan cara seperti yang terlihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Pengujian rangkaian demodulator FSK

AFG digunakan sebagai masukan analog dengan mengatur tegangannya sebesar 0,5 Vpp. Kemudian mencatat kondisi keluaran demodulator FSK dengan mengamati sinyal DC dari osiloskop. Tabel 4.6 merupakan hasil pengujian demodulator FSK.

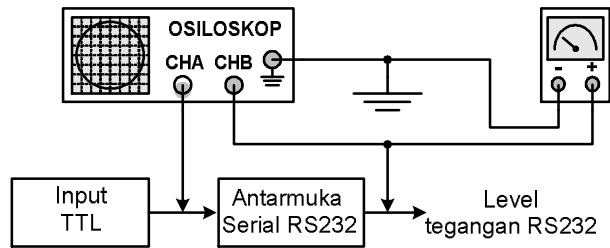
Tabel 4.5 Hasil pengujian demodulator FSK.

f (Hz)	Keluaran	f (Hz)	Keluaran
900	H	2100	L
1000	H	2200	L
1100	H	2300	L
1200	H	2400	L
1300	H	2500	L
1400	H	2600	L
1500	H	2700	L
1600	H	2800	H
1700	H/L	2900	H
1800	L	3000	H
1900	L	3100<<	H
2000	L	<<900	H

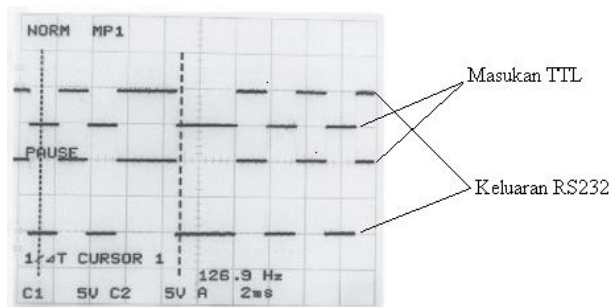
Tabel 4.6 menunjukkan frekuensi sinyal masukan demodulator FSK dan pengaruhnya terhadap kondisi keluarannya. Saat frekuensi sebesar 1700 Hz kondisi keluarannya tak tentu hal ini terjadi karena saat frekuensi tersebut terjadi kondisi peralihan pada keluarannya. Frekuensi 1600 Hz ke bawah dan frekuensi 2800 ke atas menyebabkan kondisi keluaran 'tinggi' dan frekuensi 1800 sampai dengan frekuensi 2700 menyebabkan kondisi keluaran 'rendah'. Aplikasi demodulator FSK ini untuk menerima frekuensi 1300 Hz sebagai kondisi 'tinggi' dan frekuensi 2100 Hz sebagai kondisi 'rendah'. Tabel 4.6 membuktikan bahwa rangkaian demodulator FSK dapat berfungsi dengan baik.

4.2.4 Pengujian dan Analisis Blok Antarmuka Serial RS232

Untuk menguji blok ini dapat dilakukan dengan cara seperti yang terlihat pada Gambar 4.21. Foto bentuk sinyal masukan dan sinyal keluaran dari blok antarmuka serial RS232 pada osiloskop ditunjukkan oleh Gambar 4.22.



Gambar 4.21 Pengujian rangkaian Antarmuka RS232

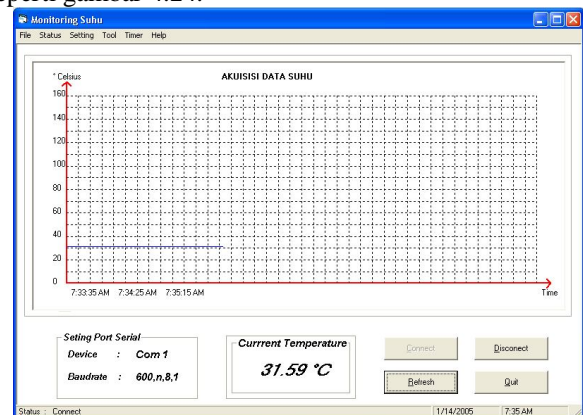


Gambar 4.22 Foto hasil pengujian rangkaian Antarmuka RS232

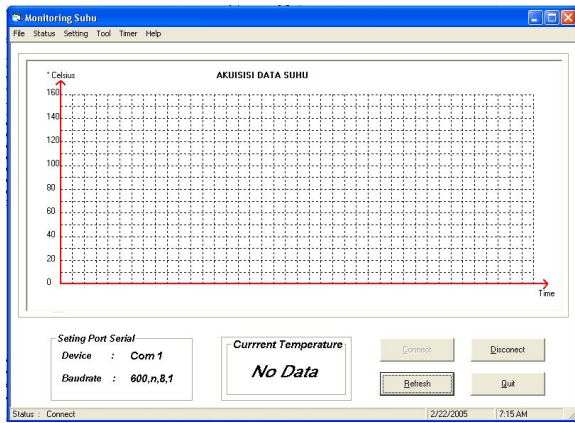
Gambar 4.22 dengan pengamatan 5V/div menunjukkan level tegangan masukan dan keluaran antarmuka serial RS232. Hasil pengamatan yang dilakukan di atas menunjukkan bahwa rangkaian ini telah dapat bekerja dengan semestinya.

4.2.5 Pengujian Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah bahasa pemrograman Visual Basic 6. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan semua blok dan mengaktifkannya. Kemudian keluaran RS232 dihubungkan ke port serial komputer. Jika semua alat (bagian pemancar dan penerima) menyala maka pendeteksi sinyal akan menyala sehingga akan mengkondisikan gerbang AND untuk mengaktifkan penerimaan data sehingga pada layar akan ditampilkan data seperti gambar 4.23 Jika sinyal penanda tidak dideteksi maka gerbang AND akan menonaktifkan penerimaan data sehingga pada layar akan ditampilkan seperti gambar 4.24.



Gambar 4.23. Tampilan saat sinyal penanda terdeteksi



Gambar 4.24. Tampilan saat sinyal penanda tidak terdeteksi

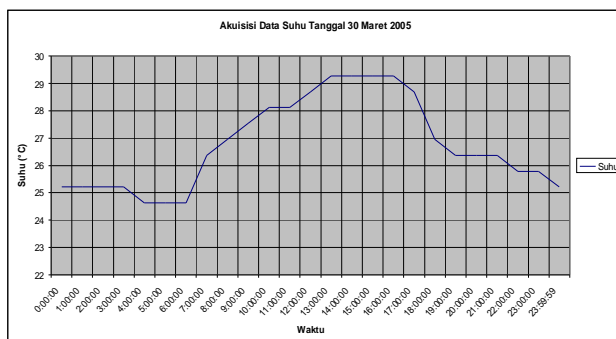
4.2.6 Pengujian Keandalan dan Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan dengan cara menjalankan alat selama 24 jam dengan pengambilan data setiap jam. Sehingga pengaturan perangkat lunak diatur supaya data diambil setiap jam.

Tabel 4.6 Data pengujian selama 1 hari

Jam	Suhu
0:00:00	25,21 °C
1:00:00	25,21 °C
2:00:00	25,21 °C
3:00:00	25,21 °C
4:00:00	24,63 °C
5:00:00	24,63 °C
6:00:00	24,63 °C
7:00:00	26,37 °C
8:00:00	26,95 °C
9:00:00	27,53 °C
10:00:00	28,11 °C
11:00:00	28,11 °C
12:00:00	28,69 °C
13:00:00	29,27 °C
14:00:00	29,27 °C
15:00:00	29,27 °C
16:00:00	29,27 °C
17:00:00	28,69 °C
18:00:00	26,95 °C
19:00:00	26,37 °C
20:00:00	26,37 °C
21:00:00	26,37 °C
22:00:00	25,79 °C
23:00:00	26,37 °C
23:59:59	25,21 °C

Dari tabel 4.6 dapat dibuat grafik seperti ditunjukkan gambar 4.25. Dari grafik ini dapat diamati perubahan suhu udara selama satu hari penuh.



Gambar 4.25 Grafik Suhu terhadap Waktu

Dari grafik terlihat bahwa terjadi penurunan suhu dari jam 00.00 sampai 06.00, kemudian suhu naik dari jam 06.00 sampai 16.00, dan terjadi penurunan lagi dari jam 16.00 sampai 23.59. Suhu tertinggi adalah 29,27°C, dan suhu terendah adalah 24,63°C. Selain pengujian dengan mengambil data suhu, pengujian lain yang dilakukan adalah pengukuran jarak jangkauan pemancar FM. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan peta tembalang dengan melihat posisi saat pengukuran pada peta, kemudian menarik garis lurus dari kampus elektro ke titik pengujian, diperoleh jangkauan pemancar FM sejauh 700 meter.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan didapatkan hal-hal penting sebagai berikut:

1. Sensor suhu LM35 memiliki nilai kesalahan maksimum sebesar 1,2 °C.
2. Pengkondisi sinyal digunakan untuk menguatkan sinyal keluaran sensor suhu LM35 sebesar 3,33 kali, tetapi pada kenyataannya terdapat kesalahan dalam penguatan, dengan penyimpangan terbesar yaitu 0,509 Volt. Hal disebabkan adanya toleransi nilai pada komponen yang digunakan.
3. Kesalahan pengubahan data dari analog ke digital oleh ADC0804 memiliki kesalahan maksimal sebesar 1,5 bit.
4. Pengubahan data paralel menjadi data serial UART dilakukan oleh mikrokontroler dengan baudrate sebesar 598,80 bps, tanpa bit paritas, 1bit start, 8 bit data dan 1 bit stop.
5. Pada modulasi digital FSK menggunakan frekuensi sebesar 2,08 kHz untuk space dan 1,2 kHz untuk mark.
6. Jangkauan pemancar FM hanya mencapai 700 meter.
7. RS232 berfungsi untuk mengubah tegangan TTL menjadi aras RS232, yaitu untuk TTL 5 V menjadi -10,08 V dan untuk TTL 0 V menjadi 10,07 V.
8. Pengolahan data dilakukan dengan komputer dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic 6 dengan menggunakan komponen serial MSCOMM.OCX.
9. Secara keseluruhan sistem telemetri suhu bekerja dengan baik.
10. Kelemahan sistem telemetri suhu yang dirancang antara lain suhu yang dapat diukur oleh sensor adalah antara 2 sampai 150° Celsius, jangkauan pemancar hanya 700 meter, dan baudrate pada modem TCM3105 yang digunakan maksimal hanya 1200 bps.

5.2 Saran

1. Untuk memperjauh jangkauan pemancar dapat menggunakan penguat transistor dengan daya yang lebih besar.
2. Untuk memperbesar jangkauan pengukuran suhu dapat menggunakan sensor yang lain, misal termocouple.
3. Baudrate dapat diperbesar dengan mengubah rangkaian modulasi digital FSK atau dengan menggunakan IC yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cooper, George, *Modern Communications and Spread Spectrum*, McGraw Hill Book Company, Singapore 1986
2. Dennis Roody, J. Coolen, *Komunikasi Elektronika, J.1.*, Erlangga, Jakarta 1986.
3. Erwin, Robert M. *Pengantar Telekomunikasi*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 1986
4. Ibnu Malik, Muhammad, Anistardi, *Bereksperimen dengan Mikrokontroler 8031*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 19973
5. Kraus, John D, *Antennas*, McGraw Hill Book Company, Singapore, 1988
6. Leon W/CouchII, *Digital and Analog Communication System*, Prentice Hall, 1997
7. Malvino, Paul Albert, *Prinsip – Prinsip Elektronika Jilid I*, Diterjemahkan oleh Sahat Pakpahan, Erlangga, Jakarta, 1996.
8. Millman, Halkias, *Elektronika Terpadu*, Erlangga , Jakarta, 1993
9. Openheim, Alan V & Willsky, Alan, *Sinyal & Sistem. Jilid 2*, Erlangga, Jakarta, 2001
10. P. H. Simale, *Sistem Telekomunikasi I*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 1995
11. Putra, Agfianto Eko, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, Gaya Media, Yogyakarta, 2002
12. Roger L. Freeman, *Telecommunication transmission Handbook*, Wiley Series, 1998
13. Schwartz, Mischa, *Transmisi Informasi, Modulasi dan Bising*, Erlangga, Jakarta, 1986
14. Tocci, Ronald J, *Digital Systems : Principles and Applications*, 5th Edition, Prentice – Hall, New Jersey, 1991
15. Wasito, S, *Vademekum Elektronika Edisi Kedua*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 2001
16. Wasito, S, *Data Sheet Book 1, Data IC Linier, TTL & CMOS*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 1985



Januar Rifai, Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Diponegoro Angkatan 2000, yang sedang berusaha menyelesaikan pendidikan S1.

Menyetujui :
Pembimbing II

Sukiswo, ST
NIP. 132 162 548