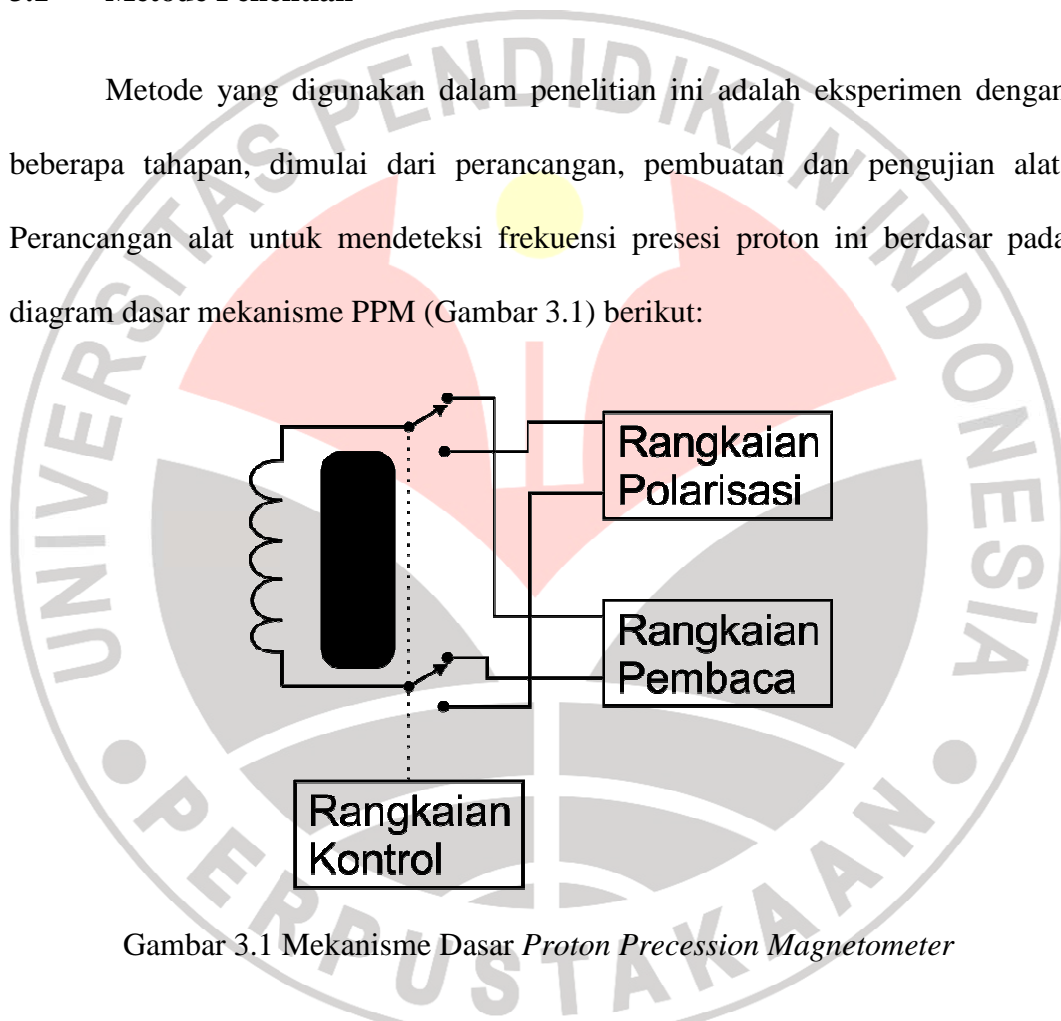


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan beberapa tahapan, dimulai dari perancangan, pembuatan dan pengujian alat. Perancangan alat untuk mendeteksi frekuensi presesi proton ini berdasar pada diagram dasar mekanisme PPM (Gambar 3.1) berikut:

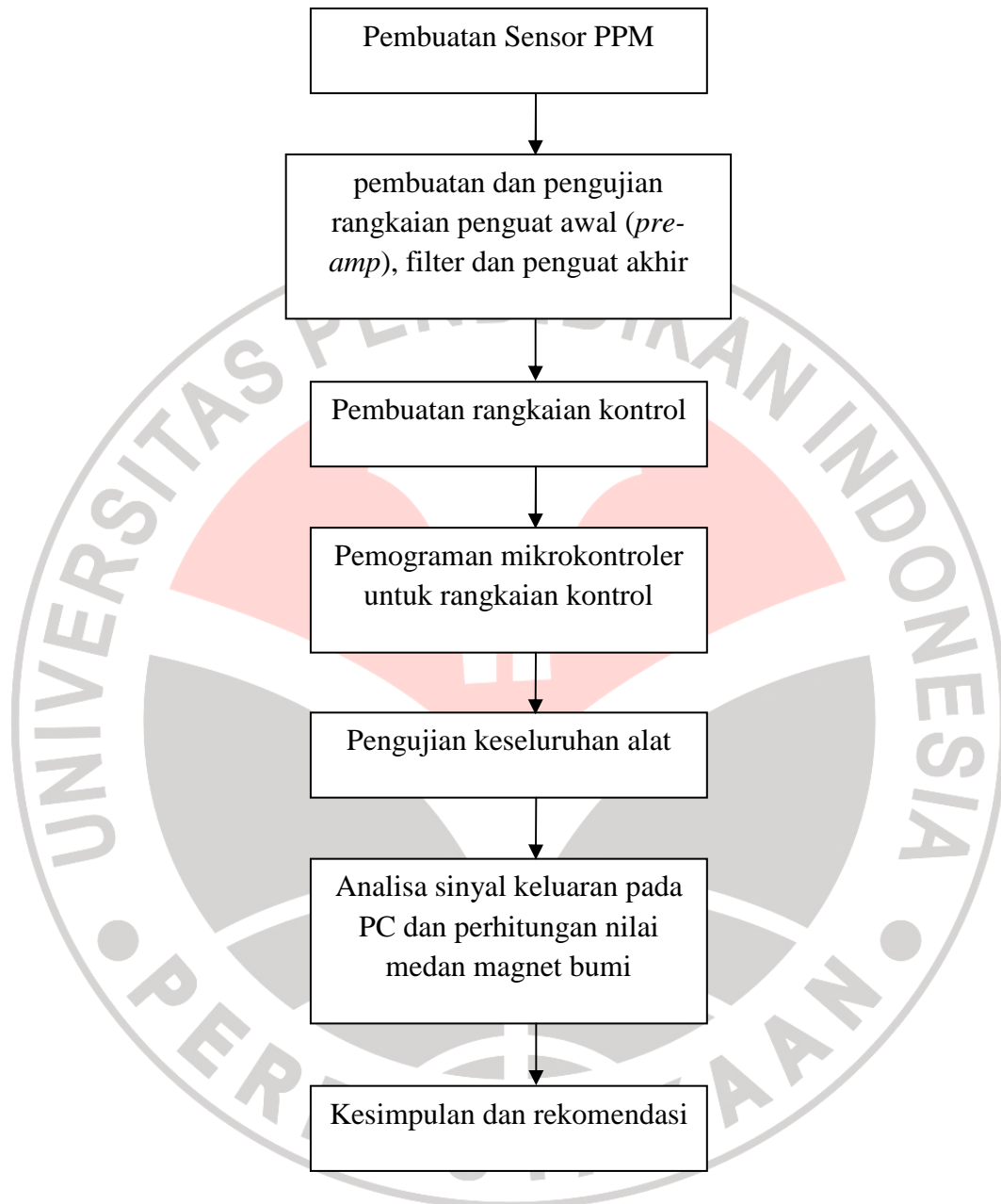


Gambar 3.1 Mekanisme Dasar *Proton Precession Magnetometer*

Agar pembuatan dan pengujian alat lebih terarah, digunakan beberapa data awal yang akan mendasari dasar perencanaan dan perbandingan saat melakukan perhitungan dan pengambilan data. Data-data awal ini adalah sebagai berikut:

1. Posisi yang akan menjadi tempat penelitian berada pada : $6^{\circ}59'39,72''$ LU dan $107^{\circ}49'19,81''$ BB, berada di daerah sekitar Cicalengka kabupaten Bandung.
2. Besar medan magnet bumi total pada daerah penelitian menurut model *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*, (tersedia pada: www.ngdc.noaa.gov) adalah 33.481,5 nT dengan perubahan pertahunnya sebesar 58,9 nT.
3. Nilai frekuensi proton berdasarkan besar medan magnet bumi mengacu pada poin 2, akan sebesar: $8,96 \times 10^3 \text{ rad/s}$ atau 1.426,244 Hz menggunakan persamaan Larmor.

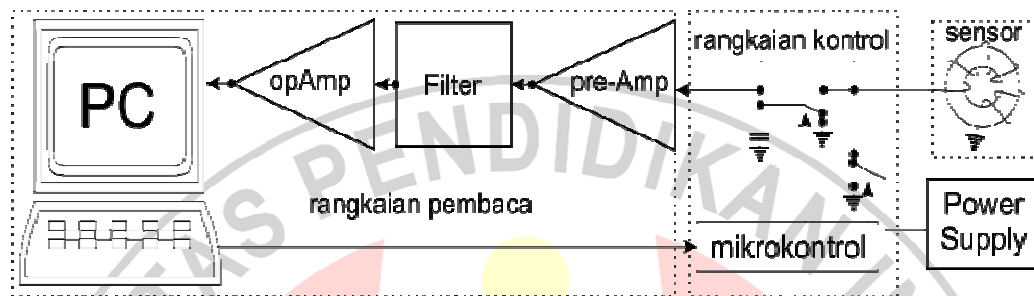
Nilai-nilai pada data awal ini terkait dengan berapa besar nilai medan magnet yang akan diamati agar dapat menjadi pembanding nilai pembacaan akhir dari alat. Serta berapa rentang frekuensi yang akan menjadi dasar pembuatan filter. Nilai pada data awal ini merupakan nilai perhitungan berdasarkan model matematika dan tidak memperhitungkan pengaruh luar atau anomali yang terjadi di lapangan sehingga nilai medan magnet pada tempat penelitian harus lebih besar ataupun lebih kecil dari nilai data awal ini. Tahapan-tahapan dalam perencanaan dan pembuatan hingga pengujian alat ini, dilukiskan dalam diagram alur penelitian (Gambar 3.2) berikut :



Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian

3.2 Perancangan Alat

Pembuatan alat akan berdasarkan blok diagram (Gambar 3.3) yang terlebih dahulu dirancang sebagai berikut:



Gambar 3.3 Blok Diagram Perancangan PPM

Mikrokontroler yang telah diprogram menggunakan fungsi timer akan mengontrol saklar antara polarisasi pada sensor yang akan masuk dari bagian power supply, dan saklar untuk pembacaan dari sensor. Bagian ini merupakan bagian rangkaian kontrol polarisasi menggunakan satu buah relay dan dua buah transistor MOSFET yang akan dikontrol melalui mikrokontroler. Selanjutnya sinyal dari sensor akan dikuatkan menggunakan penguat sinyal kecil dengan dua buah transistor dan sebuah penguat operational. Kemudian difilter menggunakan OpAmp dengan noise kecil dan dikuatkan kembali agar dapat dibaca oleh *personal computer* (PC). Untuk dapat membaca sinyal presesi proton oleh PC, dimanfaatkan *interface* audio (*Audio card*) yang telah ada pada PC. *Audio card* ini akan menguatkan sinyal analog yang masuk kemudian merubahnya menjadi sinyal digital yang akan diproses oleh PC. Sinyal-sinyal ini akan direkam oleh *software* perekam audio, kemudian dengan bantuan *software spectrum lab* akan dihitung besar frekuensi presesi dari sensor. Untuk mendapatkan nilai medan

magnet bumi pada daerah pengamatan, peneliti menggunakan persamaan Larmor pada tiap data yang telah dicatat secara manual dan menghitungnya.

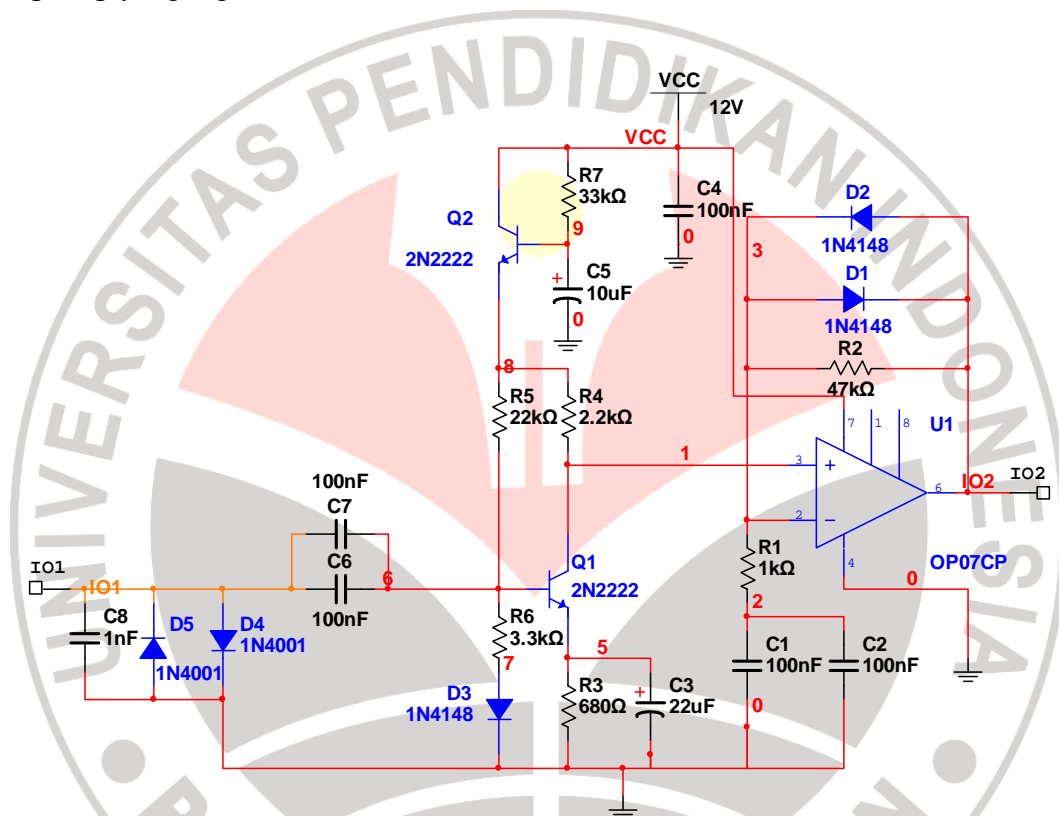
3.2.1 Sensor

Sensor yang dibuat dalam penelitian ini menggunakan bahan-bahan yang mudah didapat disekitar tempat penelitian. Karena bungkus substrat haruslah bebas dari bahan yang mudah termagnetisasi, maka peneliti menggunakan bahan berbahan dasar PVC. Sebuah pipa pembuangan mesin cuci digunakan sebagai pembungkus substrat. Pipa pembuangan ini merupakan pipa berbahan PVC elastis yang mudah untuk dibentuk. Sinyal keluaran akan bergantung pada geometri sensor, arus, jumlah lilitan kawat dan banyaknya atom hidrogen yang terkandung dalam substrat. Untuk geometri sensor, jari-jari dalam lingkaran sensor harus dibuat sekecil mungkin dan jari-jari lingkaran luar dibuat sebesar mungkin. Tetapi karena pipa yang digunakan memiliki diameter yang tetap, maka sensor dibentuk sedemikian rupa sehingga memiliki jari-jari dalam sekecil tetapi masih dapat dililit. Substrat yang digunakan tidak menggunakan air suling, akan tetapi *methanol* (CH_3OH) karena *methanol* memiliki lebih banyak atom hidrogen dibanding air dan masih mudah untuk diperoleh. Peneliti juga menggunakan kawat tembaga dengan diameter 0,5 mm yang terdapat dipasaran.

3.2.2 Penguat Awal (pre-amp)

Pada bagian ini, sinyal dikuatkan menggunakan rangkaian penguat kecil yang digabungkan dengan penguat operatif. Penguatan pada bagian ini tidak terlalu besar untuk menjaga noise tidak terlalu besar. Digunakan transistor dengan

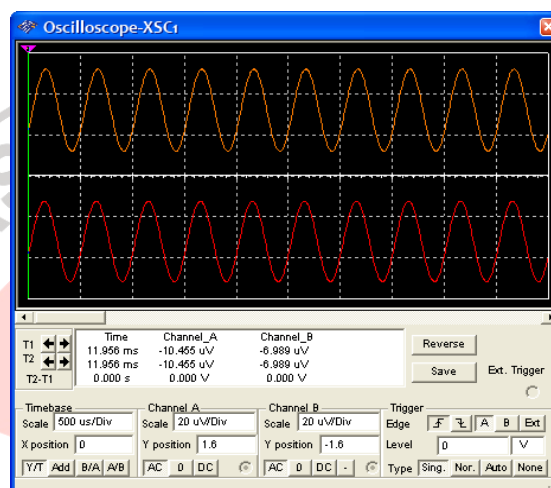
noise pada arus kolektor kecil pada bagian penguat pertama, dan sebuah OpAmp OP07 sebagai penguat kedua yang merupakan OpAmp dengan noise rendah dan mudah diperoleh dipasaran. Rangkaian pre-amp ini berdasarkan pada rangkaian yang dibuat oleh W.Bayot (Gambar 3.4) dengan perubahan pada transistor dan OpAmp yang digunakan.



Gambar 3.4 Skematik Rangkaian Pre-amp

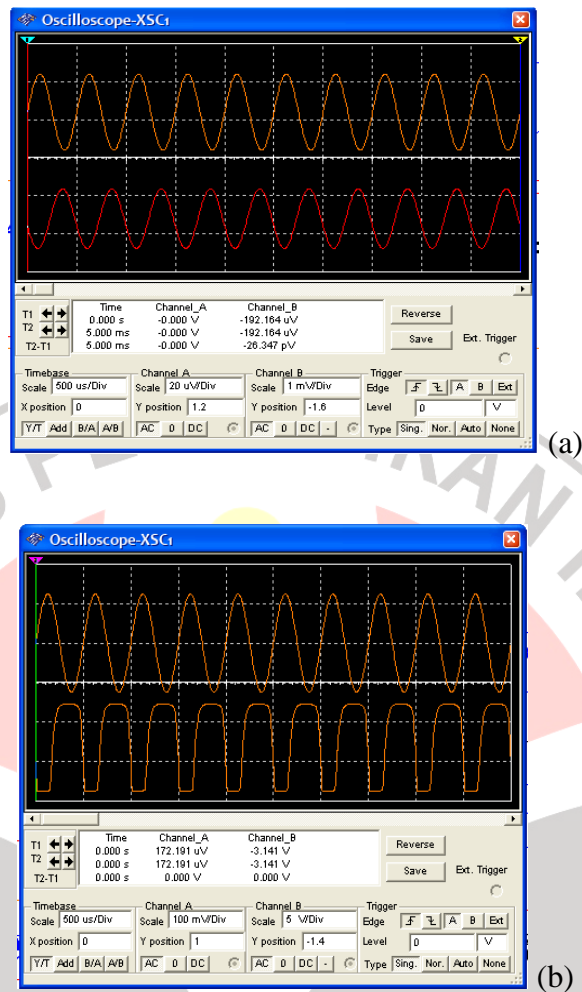
Pada titik IO1 sinyal masukan akan berupa gelombang sinusoidal dan dibypass oleh sebuah kapasitor agar sinyal dapat beresonansi. Dengan menggunakan dua buah kapasitor kopling, sinyal masukan diharapkan terbebas dari noise dc. Dua buah dioda digunakan untuk menahan sinyal ac yang masuk dari ground serta menggroundkan sinyal dc yang masih ada pada titik masukan IO1. Software simulator dari *National Instrument* digunakan untuk menganalisa

bentuk sinyal keluaran pada berbagai titik pada rangkaian. Titik pertama adalah titik 6, setelah sinyal difilter dari sinyal-sinyal dc. Hasil sinyal pada titik 6 ini tidak akan berbeda dengan titik IO1 karena seluruh sinyal ac dilewatkan dan sinyal dc digroundkan.



Gambar 3.5 Sinyal Keluaran Pada Titik 6

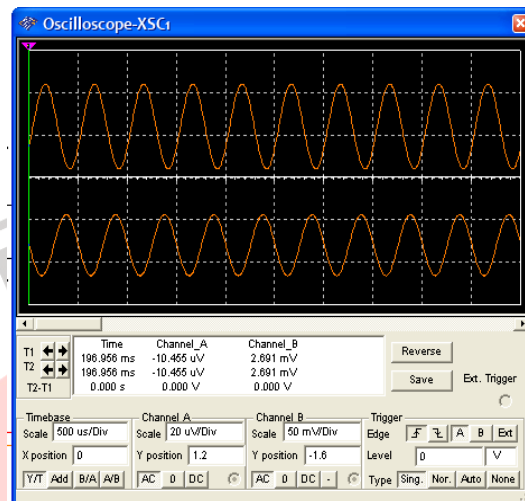
Selanjutnya sinyal akan dikuatkan oleh transistor Q1 menggunakan rangkaian penguat kelas A dengan dibantu dan dikontrol oleh transistor Q2 untuk supply arus yang lebih besar agar penguatan pada Q1 menjadi lebih besar dan stabil. Sebuah dioda digunakan pada titik masukan basis transistor Q1, hal ini digunakan untuk menahan adanya sinyal dari ground yang mungkin lebih besar dari sinyal dari titik IO1. Dengan supply power 12V, diperoleh penguatan sebesar 50 kali pada titik 1 seperti ditunjukkan pada simulator (Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Sinyal Keluaran Pada Titik 1 (a) Sinyal Dengan Masukan 1 μ V;2kHz (b) Sinyal Dengan Masukan 25mV;2kHz

Pada keluaran transistor Q1 ini, sinyal dikuatkan sebesar 50 kali dengan perubahan fasa sebesar 180°. Perubahan fasa ini tidak akan berpengaruh pada hasil perhitungan, karena yang akan digunakan adalah frekuensi dari sinyal tersebut. Titik *cut-off* transistor akan berada pada tegangan masukan 25mV, hal ini ditunjukkan dengan sinyal keluaran yang terpotong pada oscilloscope simulator. Sinyal kemudian dikuatkan dengan sebuah OpAmp pada masukan non-inverting

untuk mendapatkan penguatan yang lebih besar dan dua buah dioda digunakan pada umpan balik OpAmp agar sinyal keluaran lebih baik.



Gambar 3.7 Sinyal Keluaran Pada Titik IO2 Dengan Masukan 2kHz

Pada titik IO2 atau keluaran pre-amp, sinyal seluruhnya dikuatkan sekitar

$$\frac{channel_B}{channel_A} = \frac{2,591 \text{ mV} \times 1000}{10,455 \text{ uV}} = 248,11 \text{ kali dengan perubahan fasa sebesar } 180^\circ.$$

Penguatan ini dilakukan untuk menguatkan sinyal dari sensor yang berorde mikro volt menjadi sinyal dengan orde mili volt.

3.2.3 Band-Pass Filter

Bagian ini berfungsi untuk untuk menahan frekuensi rendah dan frekuensi tinggi, tetapi meloloskan sinyal pada frekuensi tertentu. Nilai frekuensi presesi proton yang akan didapat menurut data awal adalah $1426,244 \text{ Hz}$, sehingga band-pass filter harus dirancang dengan frekuensi tengah 1400 Hz dengan asumsi bahwa pada frekuensi tengah akan terjadi penguatan yang besar. *Bandwidth* yang cukup lebar sebesar 800 Hz digunakan karena pada daerah penelitian tidak

diketahui besar nilai medan magnet nya secara tepat. Pada banyak daerah di Indonesia, besar frekuensi presesi proton akan berada pada daerah antara 1000 Hz hingga 2000 Hz pada daerah tertentu. Agar pembacaan alat ini lebar atau jauh, digunakan bandwidth sebesar 800 Hz atau rentang frekuensi antara 1000 Hz hingga 1800 Hz.

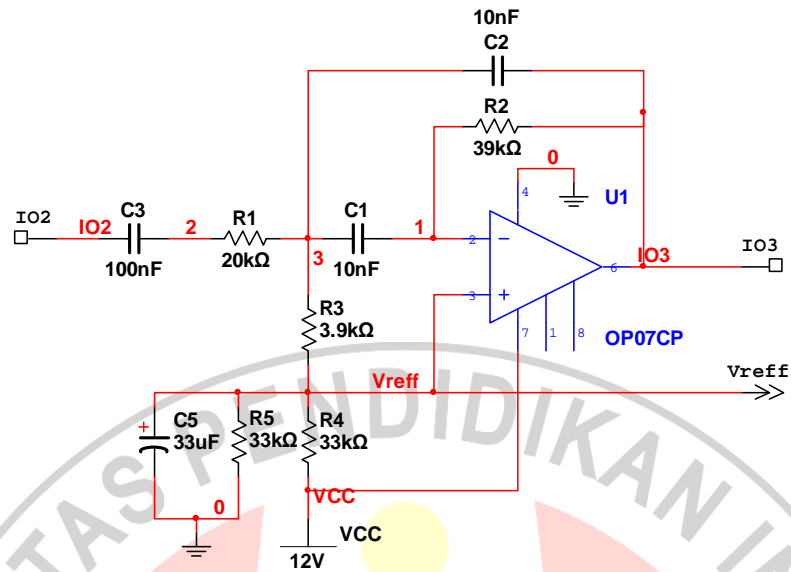
Model band-pass filter yang digunakan adalah model *multiple feedback band-pass filter*. Model ini akan dipengaruhi oleh nilai-nilai resistor $R4$, $R3$ dan $R6$ serta kapasitor $C4$ dan $C5$ pada rangkaian (Gambar 3.5). Untuk menentukan besar resistor digunakan nilai Q sebesar: $\frac{f_c(\text{frekuensi tengah})}{BW(\text{bandwidth})} = \frac{1400\text{Hz}}{800\text{Hz}} = 1,75$. Nilai $R4$, $R3$ dan $R6$ pada rangkaian dengan penguatan 1 kali akan bernilai:

$$R4 = \frac{Q}{2\pi f_c C \times H} = \frac{1,75}{2\pi 1400\text{Hz} \times 10E-9F \times 1} = 19.894 \Omega$$

$$R3 = \frac{2Q}{2\pi f_c C} = \frac{2(1,75)}{2\pi 1400\text{Hz} \times 10E-9F} = 39.789 \Omega$$

$$R3 = \frac{Q}{2\pi f_c C(2 \times Q \times Q - H)} = \frac{1,75}{2\pi 1400\text{Hz} \times 10E-9F(2 \times 1,75 \times 1,75 - 1)} = 3.882 \Omega$$

Nilai-nilai resistor disesuaikan dengan rangkian dan ketersediaan resistor dipasaran sehingga diperoleh rangkain band-pass filter aktif (Gambar 3.8) berikut:

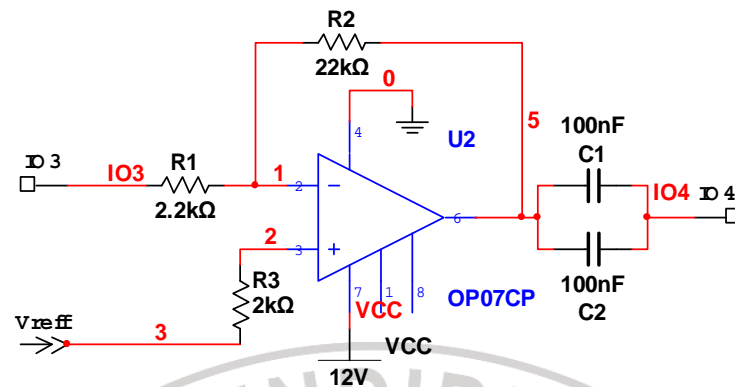


Gambar 3.8 Skematik Rangkaian Band-Pass Filter

Hasil dari band-pass yang dirancang ini akan memiliki *bandwidth* menjadi lebih kecil dari 800 Hz tetapi diharapkan masih mendekati. Untuk mendapatkan nilai rasio sinyal - noise yang rendah, seharusnya *bandwidth* dibuat lebih kecil, akan tetapi dengan *bandwidth* yang kecil jangkauan pembacaan alat akan terbatas. Karena pada tempat penelitian tidak diketahui ada atau tidak adanya anomali medan magnet bumi, maka peneliti merancang band-pass dengan *bandwidth* yang cukup besar namun diharapkan masih memiliki nilai rasio sinyal – noise yang cukup kecil.

3.2.4 Penguat Akhir

Bagian ini merupakan bagian penguat operatif menggunakan OpAmp OP07. Dengan OpAmp OP07 ini, dirancang penguatan berikut (gambar 3.9):

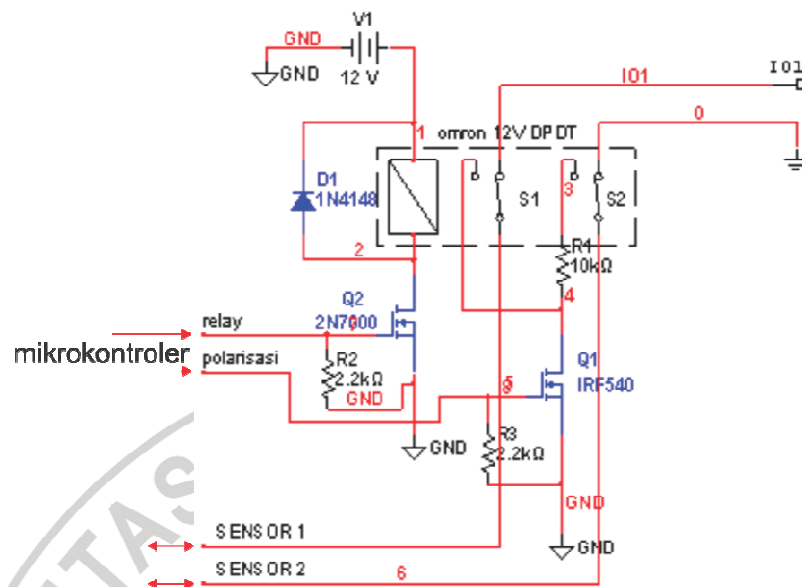


Gambar 3.9 Skematik Rangkaian Penguat Akhir

Dengan penguatan sebesar $-\frac{R_2}{R_1} = \frac{22k\Omega}{2,2k\Omega} = 10$ kali, penguat ini cukup untuk menguatkan sinyal dari band-pass filter untuk dapat dibaca oleh *Audio Card* pada PC. Kapasitor digunakan untuk mengkopel sinyal dari rangkaian menuju *Audio Card* PC.

3.2.5 Kontrol Polarisasi Dan Pembaca

Pada bagian ini digunakan sebuah relay yang dikontrol oleh mikrokontroler agar alat dapat berjalan secara otomatis. Untuk dapat mengontrol relay oleh mikrokontroler, digunakan transistor MOSFET yang dapat dikontrol dengan sinyal 5V. MOSFET ini digunakan agar tidak ada noise yang masuk ketika pembacaan setelah polarisasi, karena salah satu keuntungan MOSFET adalah waktu yang sangat singkat dari keadaan panjar dan keadaan pengosongan dalam hal ini dari on menjadi off sehingga sinyal-sinyal kecil dari ground dapat langsung diredam.



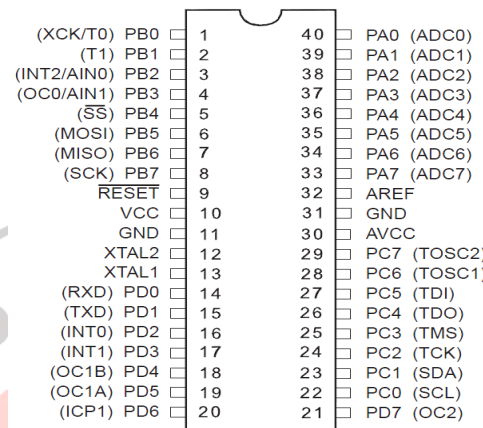
Gambar 3.10 Skematik Rangkaian Kontrol Polarisasi

MOSFET Q2 memiliki delay waktu dari keadaan on ke off atau sebaliknya sebesar 10 ns, MOSFET Q1 sekitar 80 ns, dan delay waktu ini berubah terhadap temperatur masing-masing MOSFET. Delay waktu ini tidak akan mempengaruhi proses polarisasi, tetapi akan mempengaruhi proses perhitungan sinyal. Karena sinyal akan tampak pada waktu yang singkat dan mengecil berdasarkan fungsi waktu, maka delay pada proses pembacaan sinyal akan mengganggu perhitungan. Sehingga sinyal akan lebih sulit diamati apabila delay pada rangkaian kontrol menjadi besar.

3.2.6 Mikrokontroler

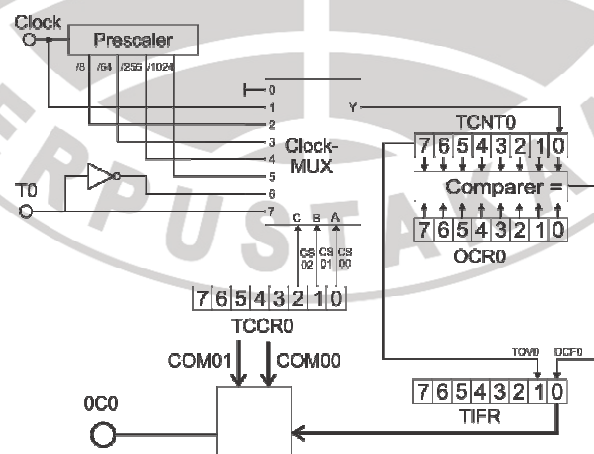
Bagian mikrokontroler ini tidak dirancang dan dibuat, akan tetapi memanfaatkan kit yang telah ada dipasaran. Kit yang digunakan adalah *programmer AVR910*, *AVR910* ini dapat diprogram dan langsung digunakan

sehingga memudahkan untuk membuat kondisi waktu polarisasi dan pembacaan yang berbeda-beda.



Gambar 3.11 Konfigurasi Pin ATmega 16

Mikrokontrol yang digunakan adalah mikrokontrol ATmega 16 yang merupakan keluarga AVR. Pin keluaran yang digunakan hanya PA0 dan PA1 untuk mengontrol MOSFET pada rangkaian kontrol polarisasi. Fungsi pada mikrokontroler yang digunakan adalah fungsi timer dengan register-register pengendali TCNT0, TCCR0, OCR0, TIMSK dan TIFR (gambar 3.12).



Gambar 3.12 Blok Diagram *Timer/Counter0*

Peneliti menggunakan timer dengan clock internal yang terdapat dalam mikrokontrol yang diset 8MHz, dan menggunakan fungsi interupsi timer biasa yang banyak digunakan.

3.3 Pemrograman Mikrokontroler

Untuk dapat dijalankan, mikrokontrol terlebih dahulu diprogram. Pemrograman bahasa *c* yang sederhana digunakan agar mudah untuk dirubah. Dengan menggunakan fungsi interupsi timer pada software CodeVisionAVR, pemrograman mikrokontroler menjadi lebih sederhana. Dalam CodeVisionAVR, interupsi timer yang digunakan adalah <delay.h> yang akan mengendalikan semua register-register timer dalam mikrokontroler. Fungsi ini dituliskan:

```
#ifndef _DELAY_INCLUDED_
#define _DELAY_INCLUDED_
#pragma used+
void delay_us(unsigned int n);
void delay_ms(unsigned int n);
#pragma used-
#endif
```

Program yang dituliskan pada bagian program utama adalah sebagai berikut:

```
while (1)
{
    PORTA.0=1; //perintah relay on
    delay_ms(200); //delay relay
    PORTA.1=1; //perintah polarisasi on
    delay_ms(5000); //delay polarisasi
    PORTA.1=0; //perintah relay off
    delay_ms(2);
    PORTA.0=0; //perintah polarize off
    delay_ms(5000); //delay relaksasi
}
```

Untuk merubah waktu polarisasi, perintah pada *delay polarisasi* dapat dipercepat atau diperlambat, dan waktu pembacaan atau waktu relaksasi juga

dapat dipercepat atau diperlambat pada perintah *delay relaksasi*. Perintah *delay relay* digunakan untuk memutuskan pre-amp dengan sensor, tetapi polarisasi belum dijalankan. Perintah ini bertujuan untuk mengosongkan rangkaian pre-amp dari sinyal-sinyal yang sebelumnya ada.

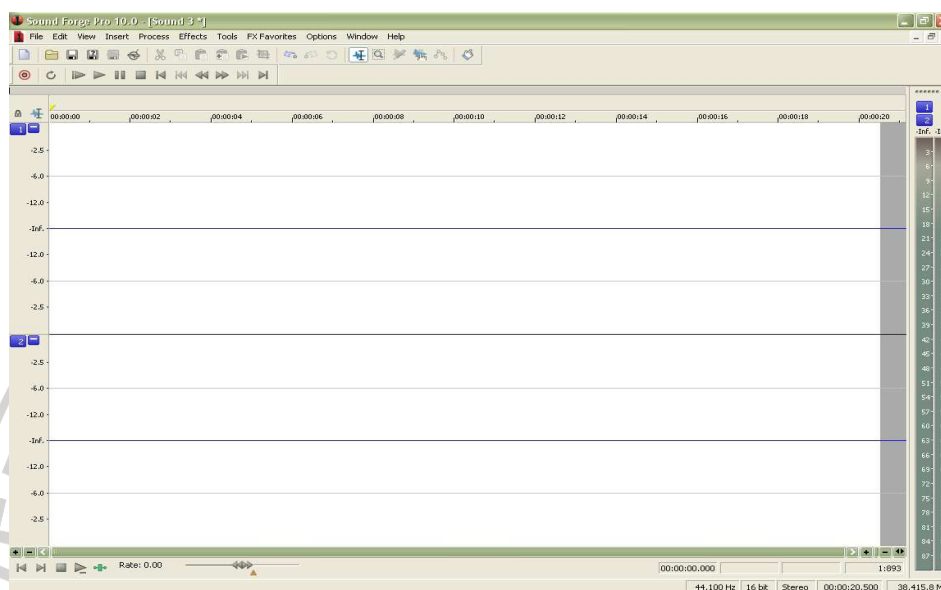
3.4 Interface

Interface atau antar muka adalah sebuah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk menyesuaikan kerja dari piranti atau rangkaian luar dengan cara kerja PC. Karena PC hanya mengolah sinyal-sinyal digital, interface ini diperlukan untuk merubah sinyal-sinyal masukan yang berupa sinyal analog menjadi sinyal digital. Dalam penelitian yang dilakukan, peneliti menggunakan interface yang telah tersedia dalam PC. Karena sinyal yang dihasilkan PPM akan berupa sinyal analog, interface dalam PC yang digunakan adalah *Audio Card*. *Audio Card* akan merubah sinyal analog dari PPM menjadi sinyal digital yang akan dioleh dengan rangkaian *Analog Digital Converter (ADC)* yang telah ada dalam *Audio Card*. Selain untuk mengubah data analog menjadi data digital, *Audio Card* ini juga berfungsi sebagai penguat, sehingga sinyal masukan PPM tidak harus sebesar 3-5V untuk dapat masuk. Dengan sinyal berorde mili volt pun cukup untuk dapat dirubah menjadi sinyal digital oleh *Audio Card*.

3.5 Teknik Pengolahan Sinyal dan Analisa

Pengolahan sinyal dilakukan oleh dua buah *software* pada *Personal Computer (PC)*. Pengolahan sinyal pertama menggunakan *software sony sound forge 10* (Gambar 3.13), *software* ini dapat merekam seluruh sinyal masukan pada interface dan dibentuk sedemikian rupa sehingga ditampilkan kembali dalam PC

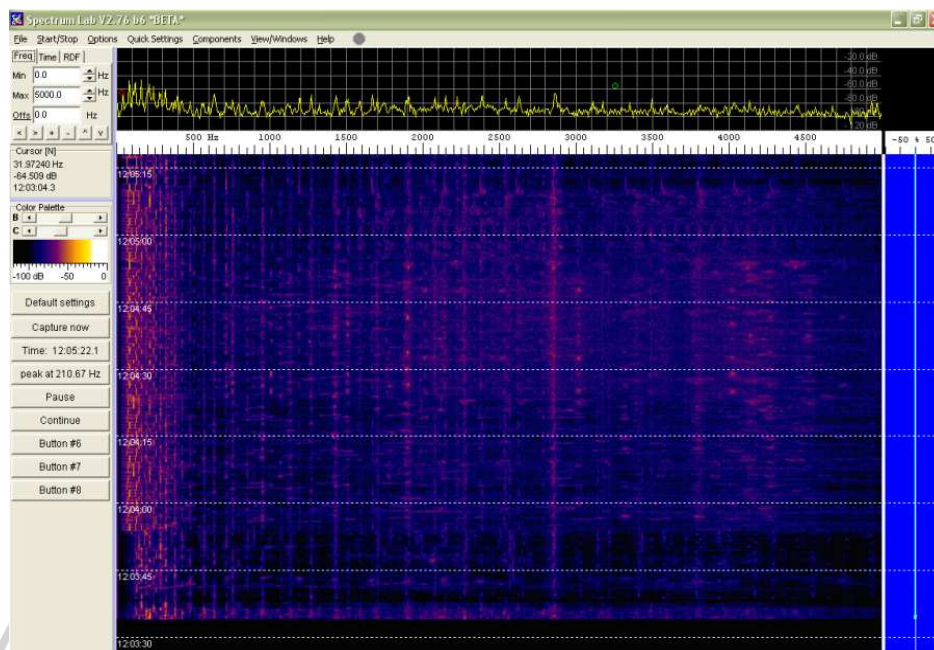
sebagai sinyal asli atau sinyal analog nya. *Software* ini cukup untuk dapat merekam semua sinyal karena presesi proton yang akan diamati berada pada rentang frekuensi radio.



Gambar 3.13 Tampilan Sony Sound Forge 10

Software ini dimanfaatkan terutama untuk dapat merekam seluruh sinyal dari PPM selama pengukuran dan dapat disimpan sebagai data untuk dianalisa selanjutnya. Pada *software* ini akan diketahui sinyal saat terjadi polarisasi dan saat pembacaan, apabila saat polarisasi dilakukan terdapat sinyal-sinyal kecil hal tersebut dianggap sebagai noise yang terdapat dalam rangkaian pre-amp, band-pass dan OpAmp.

Software kedua yang digunakan adalah *spectrum lab* (Gambar 3.14), yang digunakan untuk mengetahui seluruh frekuensi pada sinyal yang diterima. Dengan *software* ini akan diamati mana yang merupakan frekuensi presesi, yang kemudian akan dihitung berdasarkan data yang telah direkam sebelumnya.



Gambar 3.14 Tampilan *Spectrum Lab*

Software spectrum lab dilengkapi grafik spectrum sinyal pada bagian atas, dan *FFT waterfall* pada bagian bawah yang akan menunjukkan nilai frekuensi dengan amplitudo yang cukup besar pada waktu tertentu dengan indikasi perbedaan warna. Selain itu juga pada *software* ini terdapat nilai perhitungan frekuensi dengan amplitudo terbesar pada sebelah kiri.

Setelah nilai-nilai frekuensi presesi untuk beberapa keadaan diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan manual untuk mendapatkan besar medan magnet bumi total yang diamati. Kemudian dibuat grafik waktu pengamatan terhadap besar nilai medan magnet bumi total yang telah dihitung pada daerah yang diamati.