

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis menganalisa data hubungan tegangan dengan medan magnet untuk mengetahui karakteristik sistem sensor magnetik. Tahapan yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik sistem sensor magnetik dengan memberikan medan magnet yang berasal dari kumparan solenoida dengan cara memberikan arus pada kumparan solenoida. Bersamaan dengan itu, dilakukan pengukuran tegangan keluaran dari sensor analog.

3.2. Tempat Penelitian

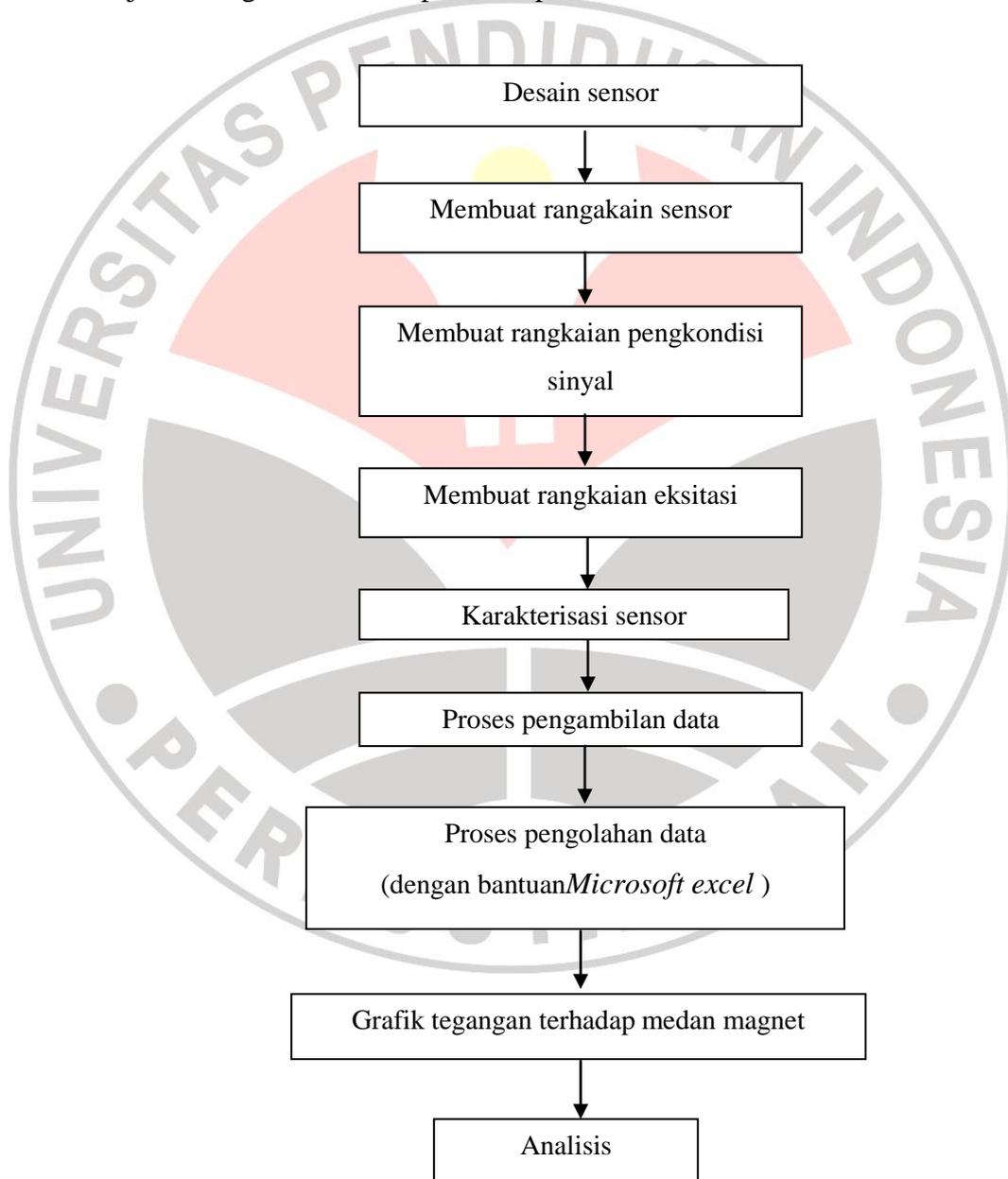
Penelitian dilakukan dengan mengambil data secara langsung (primer) di LIPI bagian Pusat Pengembangan Elektronika dan Telekomunikasi. Sedangkan perancangan alat dilakukan di laboratorium elektronika UPI.

3.3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk desain dan pengujian sensor *fluxgate* ini terlampir pada lampiran C.

3.4. Prosedur Penelitian

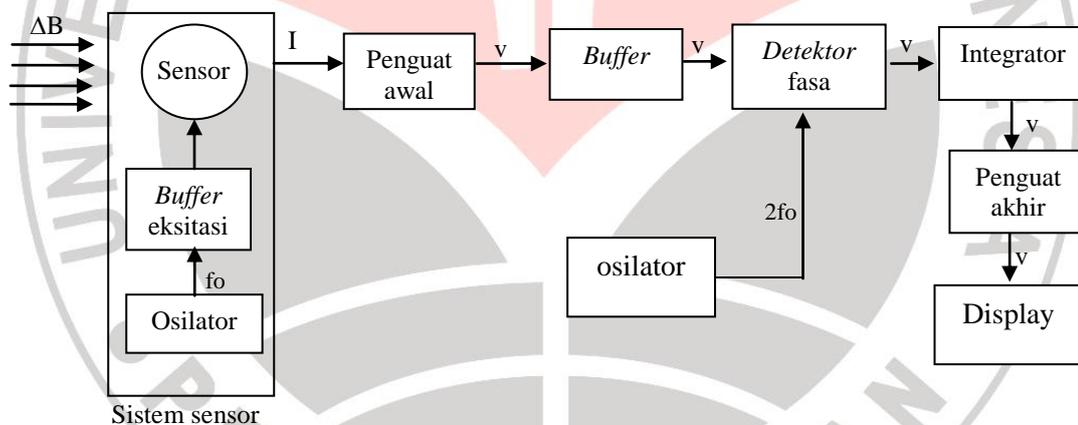
Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu pembuatan rangkaian sensor, rangkaian pengkondisi sinyal, rangkaian eksitasi, sampai dengan pengambilan data kemudian menganalisisnya. Pada gambar 3.1 menunjukkan diagram alur dari prosedur penelitian.



Gambar 3.1: Alur Penelitian

3.5. Pembuatan Rangkaian Analog Sensor

Dalam mendesain rangkaian analog sensor magnetik *fluxgate* dengan elemen sensor kumparan sekunder ini, terdiri beberapa bagian rangkaian yang terintegrasi. Sedangkan untuk rangkaian elektroniknya terdiri dari rangkaian pengolah sinyal dan rangkaian eksitasi. Pada pengolah sinyal sensor terdiri dari beberapa bagian yaitu rangkaian penguat awal, *buffer*, detektor fasa, *buffer*, penguat akhir, dan *integrator*. Dalam rangkaian eksitasi terbagi lagi menjadi tiga bagian yaitu rangkaian osilator pembagi frekuensi, rangkaian penyangga dan pembangkit sinyal eksitasi. Semua bagian digabungkan, sehingga bisa membentuk suatu sistem sensor magnetik *fluxgate* seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2: Diagram Blok Rangkaian Analog Sensor Medan Magnetik *Fluxgate*.

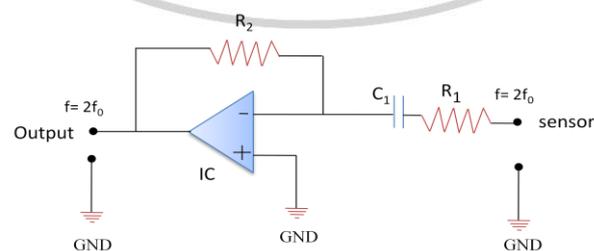
Osilator yang menghasilkan frekuensi eksitasi disesuaikan dengan *buffer* sebesar 2 KHz diberikan pada kumparan eksitasi. Dengan adanya medan magnet dari luar, maka arus dari kedua elemen kumparan sekunder sensor yang berlawanan dijumlahkan. Apabila terdapat medan magnet luar, maka terdapat selisih arus pada ujung-ujung kumparan *pick up*.

Penguat awal yang berbentuk integrator merubah arus menjadi tegangan, kemudian sinyal yang masuk dari penguat awal dideteksi oleh detektor fasa. Detektor ini akan meneruskan sinyal dengan frekuensi harmonisasi kedua dengan menggunakan frekuensi referensi osilator sebelum dibagi dua oleh pembagi frekuensi, sementara frekuensi ganjil dan yang lainnya tidak diteruskan. Frekuensi detektor fasa ini, nilainya dua kali lebih besar dari frekuensi eksitasi yaitu 4 KHz. Sinyal dari detektor fasa kemudian diteruskan ke integrator. Dalam integrator yang menggunakan tapis lolos rendah ini, frekuensi dan noise diredam, hanya sinyal dengan frekuensi rendah yang dilewatkan dan dikuatkan kembali oleh penguat akhir. Hasil yang diperoleh berupa tegangan yang ditampilkan pada Voltmeter.

3.6. Rangkaian Pengolah Sinyal

3.6.1. Penguat Awal

Penguat awal merupakan rangkaian diferensiator yang berfungsi sebagai penguat pada frekuensi tinggi yaitu sebagai tapis lolos tinggi. Rangkaian penguat awal ini, terdiri dari dua buah resistor, sebuah kapasitor, sebuah op-amp. Gambar 3.3, adalah blok dasar rangkaian penguat awal sebagai pendiferensial sinyal yang keluar dari elemen sensor.

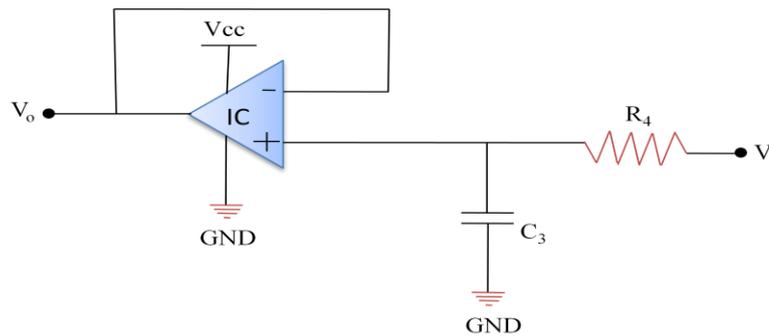


Gambar 3.3: Rangkaian Penguat Awal

Arus yang berasal dari sensor dirubah menjadi tegangan pada resistor, arus pada resistor sama besarnya dengan arus yang melewati kapasitor. Pada penguat op-amp terdiri dari dua terminal masukan yaitu *inverting* dan *non inverting* dan satu terminal keluaran. Apabila isyarat masukan dihubungkan dengan terminal *inverting* maka daerah frekuensi tengah isyarat keluaran berlawanan fasa atau berlawanan tanda dengan isyarat masukan. Sebaliknya apabila isyarat masukan dihubungkan dengan terminal *noninverting* maka daerah frekuensi tengah isyarat keluaran akan satu fasa atau mempunyai tandayang sama dengan isyarat masukan. Op-amp yang ideal mempunyai impedansi masukan tak hingga dan mempunyai impedansi keluaran nol. Keluaran dari op-amp bisa memberikan penguatan tegangan hingga orde 10^5 .

3.6.2. *Buffer*

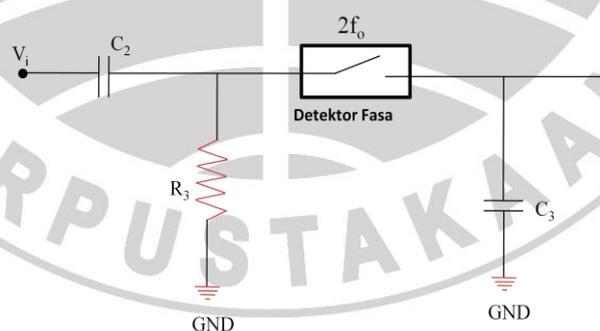
Buffer dipakai untuk menjaga kestabilan sinyal sensor yang masuk kedalam rangkaian detektor fasa. Dengan adanya rangkaian *buffer* ini, keluaran sinyal dari detektor fasa menjadi stabil dan hambatan yang terdapat didalam detektor fasa tidak akan mengurangi besar tegangan sinyal yang keluar dari detektor tersebut. Dengan demikian, penambahan *buffer* akan menjadikan keluaran sensor menjadi lebih stabil. Susunan rangkaian *buffer* dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4: Op-Amp yang Berfungsi Sebagai *Buffer* Sinyal

3.6.3. Rangkaian Detektor Fasa

Pada rangkaian detektor fasa sinyal yang berbentuk pulsa yang berasal dari *buffer* penguat awal diteruskan. Kemudian rangkaian detektor fasa yang terdiri dari diferensiator dan saklar analog ini, cukup meneruskan sinyal yang sefasa atau yang memiliki fasa kelipatan 2π dan seterusnya. Saklar analog akan meneruskan sinyal yang masuk sesuai dengan frekuensi dari osilator yaitu $2f_0$. Gambar 3.5 Menunjukkan rangkaian detektor fasa.

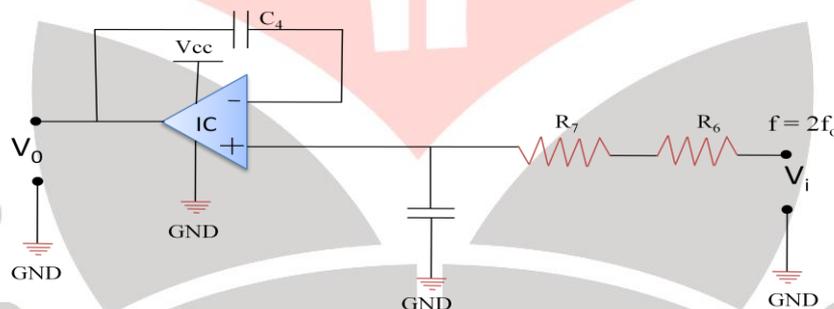


Gambar 3.5: Rangkaian Detektor Fasa

Keluaran dari detektor fasa dimasukkan ke dalam *buffer* kembali untuk diperkuat supaya sinyal tidak lemah. Kemudian keluaran dari *buffer* di masukan kedalam tapis lolos rendah *sallen key tipe butterworth*.

3.6.4. Tapis Lolos Rendah Sallen Key Tipe Butterworth

Tapis lolos rendah *Sallen Key tipe Butterworth* merupakan tapis lolos rendah aktif dan juga pengembangan dari penggunaan tapis lolos rendah pasif. Penggunaan tapis lolos rendah *Sallen Key tipe Butterworth* orde dua ini memiliki keunggulan dibanding tapis lolos rendah pasif, diantaranya adalah penguatan sinyal pada frekuensi di atas frekuensi kutub adalah -20 dB, dan keluaran yang stabil. Dalam hal ini kutub dari tapis ini dibuat rendah sekitar 1 Hz, ini sangat kecil dibandingkan frekuensi pulsa f_0 , sehingga pada kondisi ini rangkaian tapis ini berfungsi sebagai integrator. Rangkaian tapis lolos rendah *Sallen Key tipe Butterworth* ditunjukkan oleh Gambar 3.6.

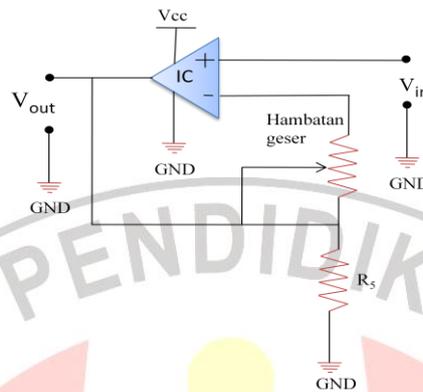


Gambar 3.6: Rangkaian Tapis Lolos Rendah *Sallen Key tipe Butterworth* dengan Penguatan Satu Kali

3.6.5. Penguat Akhir

Pada penguat akhir, keluaran dari tapis lolos rendah diatur penguatannya. Rangkaian ini diperlukan untuk mengkalibrasi keluaran sensor magnetik agar sesuai dengan medan magnet yang dideteksi oleh sensor. Keluaran yang diperoleh

dari rangkaian ini, berupa tegangan analog yang merepresentasikan besar medan magnetik yang dideteksi.

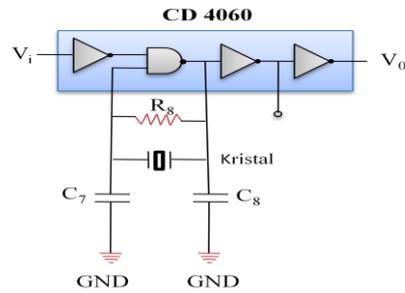


Gamabar 3.7: Penguat Akhir Sensor

3.7. Rangkaian Eksitasi

3.7.1. Osilator dan Pembanggi Frekuensi

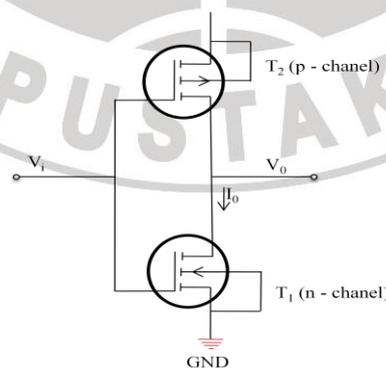
Osilator merupakan rangkaian dasar yang sangat penting dalam pembuatan sensor magnetik *fluxgate*. Hal ini disebabkan karena stabilitas dari frekuensi medan yang dihasilkan tergantung kepada stabilitas osilator. Fungsi dari osilator yaitu sebagai sinyal eksitasi yang akan diberikan pada lilitan eksitasi. Pengaruh medan magnetik dari luar terhadap sinyal eksitasi akan dideteksi oleh lilitan sekunder. Rangkaian osilator yang digunakan adalah kristal 5MHz, dengan pembagi frekuensi yang terdapat dalam IC CD4060 diperoleh frekuensi 4KHz dari pembagi 2^{10} . Rangkaian osilator seperti yang terlihat pada gambar 3.8



Gambar 3.8: Rangkaian Osilator Kristal dan IC CD4060

3.7.2. Rangkaian Penyangga

Rangkaian penyangga yang ideal memiliki penguatan satu dengan impedansi masukan yang sangat besar dan impedansi keluaran yang sangat kecil. Banyak cara dalam pembuatan rangkaian penyangga diantaranya dengan penguat kolektor ditanahkan, penguat tolak-tarik (*push pull amplifier*), atau dengan menggunakan MOSFET. Supaya arusnya kuat sebelum sinyal masuk kedalam MOSFET, sinyal dilewatkan terlebih dahulu pada 6 gerbang NOT dari IC 7404 yang dirangkai secara paralel. Kemudian sinyal tersebut dilewatkan pada dua transistor MOSFET yaitu tipe p-MOS dan n-MOS, kedua MOSFET ini berfungsi sebagai CMOS inverter.

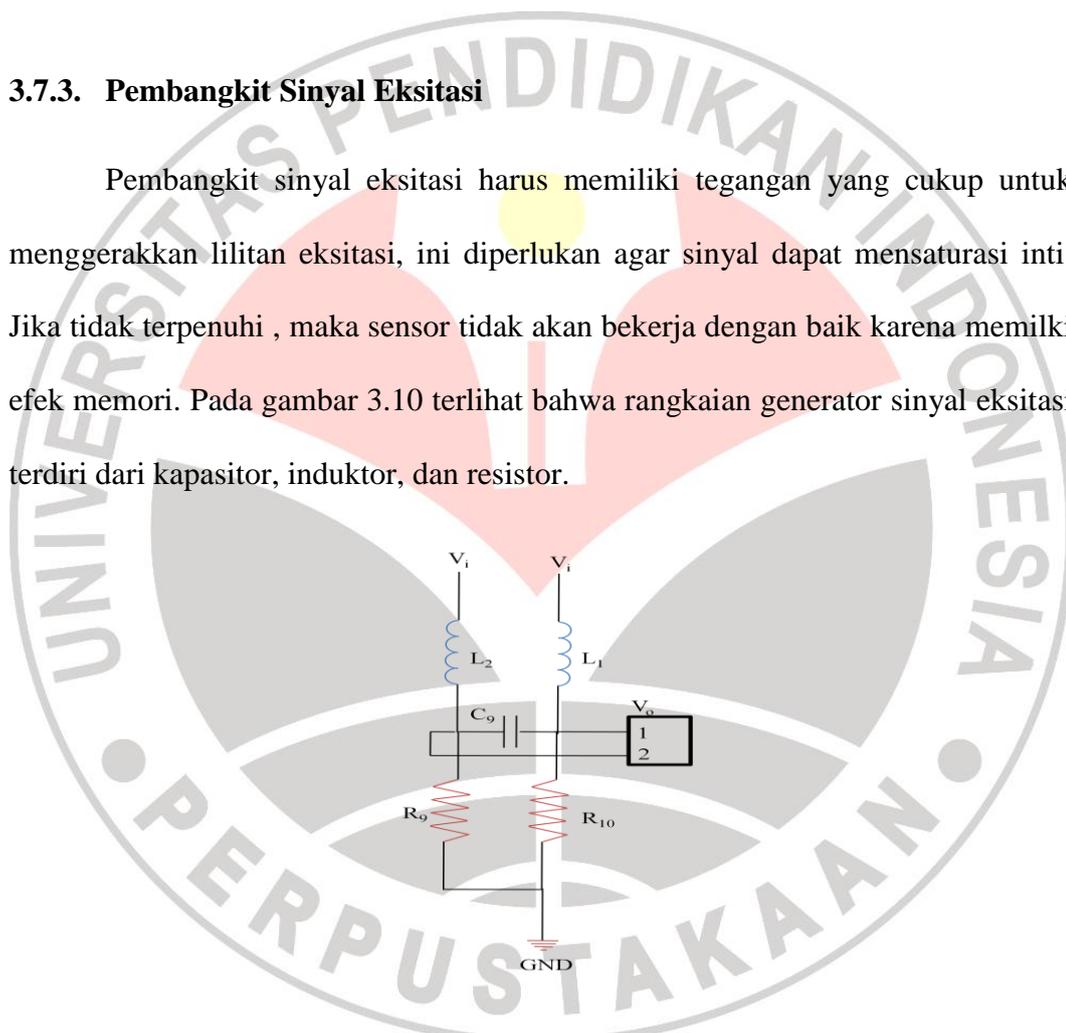


Gambar 3.9: Rangkaian MOSFET sebagai Inverter

Pada rangkaian MOSFET, T_1 dalam keadaan *on* dan T_2 dalam keadaan *off* ketika $V_i = V_{cc}$. Pada kondisi seperti ini, keluaran V_o akan sama dengan nol, karena transistor terhubung secara seri. Sebaliknya ketika V_o akan sama dengan V_{cc} ketika, T_1 dalam keadaan *off* dan T_2 dalam keadaan *on* pada saat $V_i = 0$.

3.7.3. Pembangkit Sinyal Eksitasi

Pembangkit sinyal eksitasi harus memiliki tegangan yang cukup untuk menggerakkan lilitan eksitasi, ini diperlukan agar sinyal dapat mensaturasi inti. Jika tidak terpenuhi, maka sensor tidak akan bekerja dengan baik karena memiliki efek memori. Pada gambar 3.10 terlihat bahwa rangkaian generator sinyal eksitasi terdiri dari kapasitor, induktor, dan resistor.

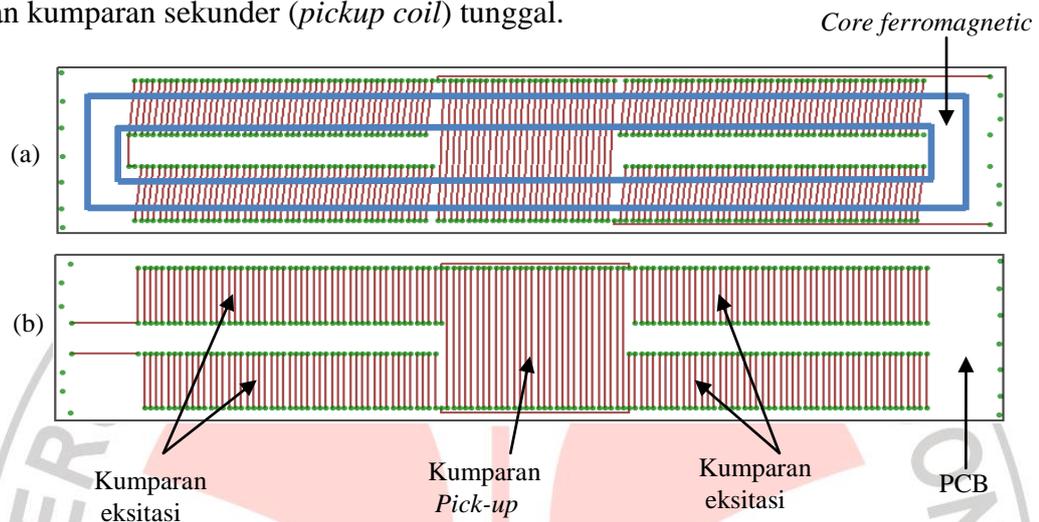


Gambar 3.10: Generator Sinyal Eksitasi

Dalam hal ini, kapasitor berfungsi sebagai penghalang arus searah yang mungkin mengalir ke dalam rangkaian eksitasi. Pembangkit sinyal eksitasi harus bisa mensaturasi inti eksitasi tetapi tidak sampai merusak kumparan eksitasi karena pemberian daya yang terlalu besar.

3.8. Desain Sensor

Desain sensor yang digunakan untuk mengukur medan magnet tampak pada gambar 2.5. Sensor ini, terdiri dari inti ferromagnetik, empat kumparan eksitasi, dan kumparan sekunder (*pickup coil*) tunggal.



Gambar 3.11 : Desain Elemen Sensor Fluxgate Kumparan Sekunder (*pickup coil*) Tunggal (a) bagian muka (b) bagian belakang

Pada sensor ini, inti ferromagnetik diletakkan di PCB bagian muka, kemudian ditumpuk oleh PCB yang bagian belakang, sehingga inti ferromagnetik terletak ditengah-tengah antara PCB bagian muka dan bagian belakang. Kumparan sekunder (*pick up coil*) terletak ditengah-tengah inti diapit oleh kumparan eksitasi.

3.9. Metode Analisis

Analisis dilakukan dengan bantuan komputer. Data yang diperoleh dari hasil percobaan diolah dengan menggunakan *Microsoft excel*, kemudian di plot menjadi grafik. Berikut ini tahapan-tahapan dalam memperoleh karakteristik keluaran sensor *fluxgate*.

3.9.1 Karakteristik Kumpan Solenoida

Dalam mengkarakteristik kumpan solenoida digunakan magnetometer standar sebagai sensor magnet dan sebuah kumpan solenoida sebagai penghasil medan magnet yang dapat diubah-ubah dan terukur secara standar. Kumpan solenoida ini, merupakan sumber medan magnet yang nantinya akan diukur oleh sensor *fluxgate*.



Gambar 3.12: Magnetometer dan Kumpan Solenoida

Dengan memberikan arus pada kumpan, maka akan diperoleh medan magnet. Hubungan antara medan magnet terhadap kuat arus akan diplot menjadi sebuah grafik. Respon medan magnet (**B**) terhadap perubahan arus induksi (**I**) adalah linier, sehingga dari grafik dapat dianalisis dengan menggunakan pendekatan fungsi linier.

$$y = mx + c \quad \text{atau} \quad \mathbf{B(I)} = mI + c$$

Dimana m merupakan gradien dan c adalah konstanta (garis yang memotong di sumbu B)

3.9.2 Karakteristik Keluaran Sensor *Fluxgate*

Arus yang diberikan pada kumparan solenoida menghasilkan medan magnet yang kemudian akan diukur oleh sensor *fluxgate*. Bersamaan dengan itu, dilakukan pengukuran tegangan keluaran dari sensor analog. Dengan demikian diperoleh hubungan antara tegangan terhadap medan magnet. Dengan menganalisis kurva yang diperoleh dengan fungsi linier diperoleh rentang pengukuran atau daerah kerja sistem sensor. Sensitivitas (S) di peroleh dari perbandingan perubahan sinyal keluaran terhadap sinyal masukan.