

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, metodologi yang digunakan adalah *Non-Destructive Testing* dengan prinsip *Eddy Current* sebagai dasar pengujiannya serta beberapa komponen pendukung dan sistem otomasi untuk meminimalisir kesalahan pengujian pada proses *Non-Destructive Testing*.

#### 3.1. Metodologi Penelitian

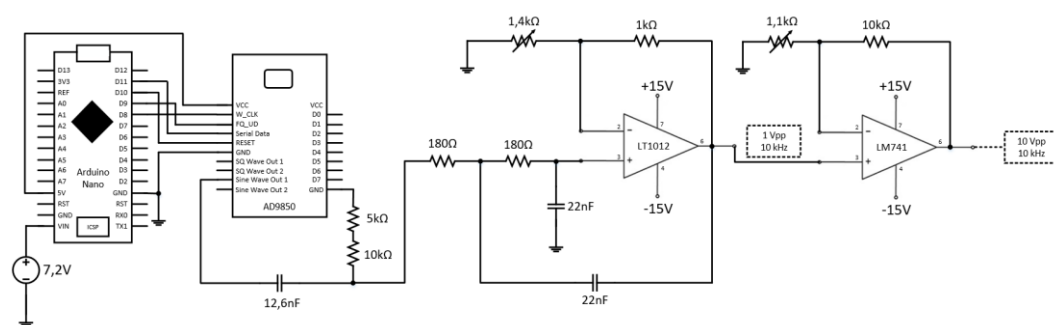
Penelitian ini memiliki beberapa tahapan proses untuk mencapai hasil yang diharapkan, di antaranya adalah sebagai berikut.

##### 1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan bertujuan untuk mencari informasi mengenai pengujian *Non-Destructive Testing* dengan metode uji *Eddy Current*. Pengujian ini banyak digunakan untuk menginspeksi material logam guna menguji kualitasnya serta melihat ketebalan dari material tersebut.

##### 2. Pembuatan *signal generator mini*

Pembuatan *signal generator mini* ini bertujuan untuk menghasilkan *signal generator* yang memiliki dimensi kecil serta bobot yang ringan namun keluaran yang dihasilkan tetap stabil dan bersih dari *noise*. Berikut pada Gambar 3.1 merupakan rangkaiannya.



Gambar 3.1 Diagram Skematik *Signal Generator Mini*

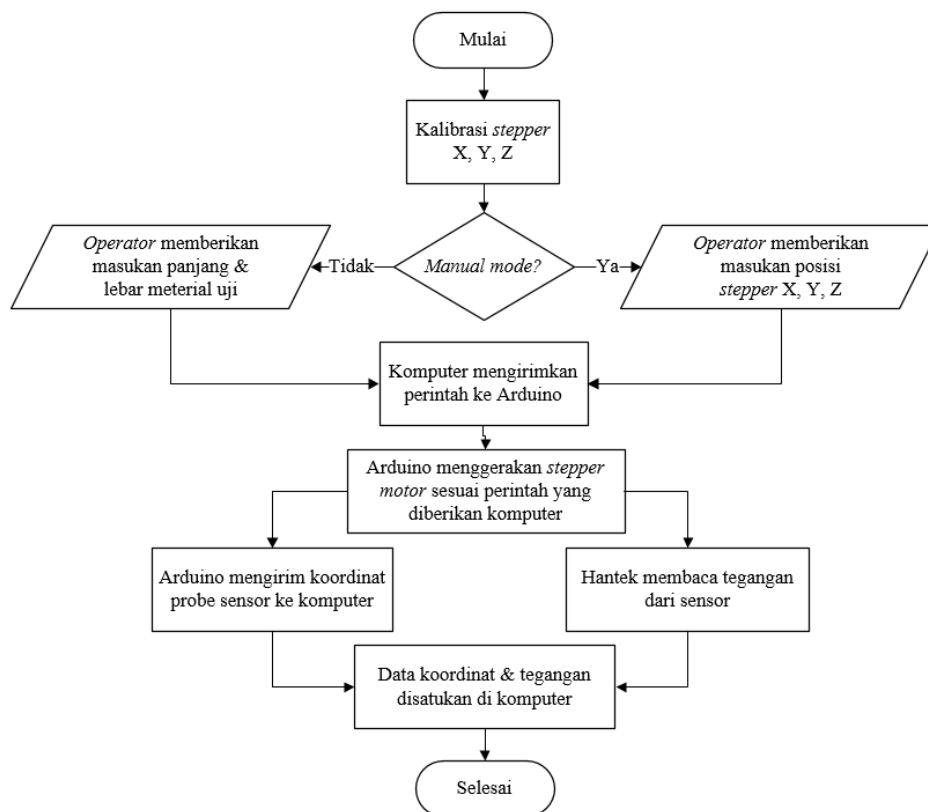
Seperti yang dilihat pada Gambar 3.1 bahwa selain menggunakan AD9850, *signal generator mini* ini juga diberikan *filter* dengan tujuan meminimalisir kemungkinan *noise* yang dapat mempengaruhi *signal generator*.

### 3. Pembuatan *filter* sinyal

Pembuatan *filter* sinyal ini sangat penting dikarenakan sensor *ECT* yang sangat sensitif terhadap *noise* yang ada di sekitar sensor. Tujuan dari pembuatan *filter* ini yaitu untuk meminimalisir *noise* yang ditimbulkan oleh efek *electromagnetic interference* di lingkungan sekitar sensor terutama yang disebabkan oleh *Switch Mode Power Supply* (SMPS) yang digunakan untuk mensuplai listrik dari Arduino dan *Stepper Motor*.

### 4. Uji keandalan sistem

Tujuan dari pengujian keandalan sistem secara keseluruhan ini yaitu untuk mengetahui apakah sistem dapat mendeteksi *crack* pada benda uji secara akurat dengan lokasi yang tepat. Berikut pada Gambar 3.2 merupakan skema pengujiannya.

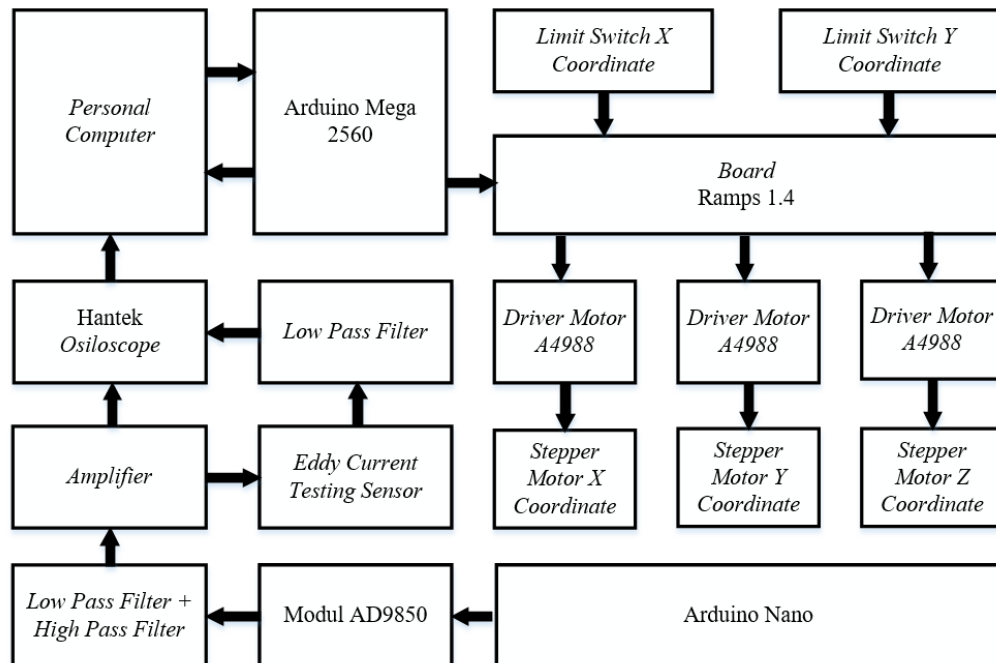


Gambar 3.2 Skema Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pada Gambar 3.2 merupakan skema sistem ketika dilakukan pengujian secara keseluruhan. Untuk menguji kestabilan sistem dalam pendeteksian *crack* dilakukan dengan beberapa benda uji dengan posisi *crack* yang berbeda.

### 3.2. Perancangan Hardware

Sistem NDT *controller and monitoring* ini dibangun dengan beberapa perangkat keras yang saling terhubung satu sama lain. Berikut pada Gambar 3.4 ini merupakan diagram blok dari sistem NDT *controller and monitoring* yang dibuat.



Gambar 3.3 Diagram Blok *Input dan Output NDT Controller and Monitoring*

Diagram blok pada Gambar 3.3 merupakan representasi dari sistem koneksi antar perangkat keras yang digunakan agar pengujian dapat digunakan.

### 3.3. Perancangan Software

Peningkatan efektifitas dalam pengujian sangat penting. Pada penelitian ini untuk mempermudah dan meningkatkan efektifitas dalam pengujian, dibangun *software* yang bertugas untuk mengendalikan sensor serta mengambil data pengujiannya secara *real time*. Pengendalian posisi dari sensor digunakan Arduino Mega 2560 dengan bahasa C sedangkan untuk aplikasi GUI yang menampilkan keseluruhan hasil pengujian dibangun dengan menggunakan Visual Basic 6.0 dengan sistem komunikasi *serial* ke Arduino dan Hantek 6022BE.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

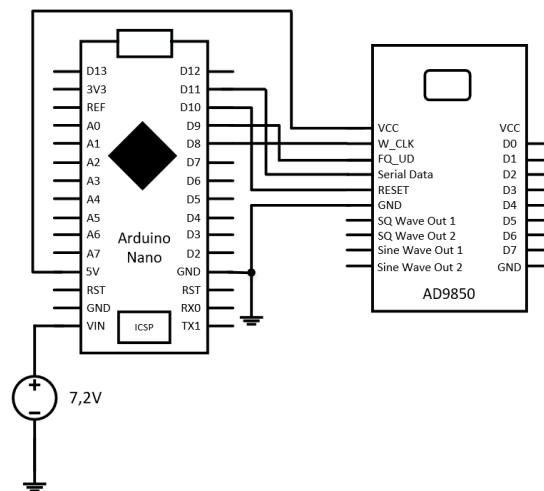
Secara garis besar pembuatan alat *non-destructive testing controller and monitoring* yang ditulis pada penelitian ini dapat dibagi menjadi tiga bagian besar yaitu pembuatan *signal generator mini*, pengujian sensor *Eddy current* terhadap benda uji, dan pembuatan *software* itu sendiri untuk mengendalikan dan melihat secara *real time* hasil pengujian.

#### **4.1. Pembuatan *Signal Generator Mini***

Sensor *Eddy Current Testing* yang digunakan pada penelitian ini dalam pengoperasiannya membutuhkan sinyal AC yang berfungsi untuk menginduksi kumparan pada sensor sehingga dapat menimbulkan efek putaran arus (*Eddy current*) di permukaan benda uji yang kemudian dibaca oleh sensor. Salah satu cara untuk membangkitkan sinyal AC tersebut dapat menggunakan *signal generator*. Rencana jangka panjang dari proyek ini dapat digunakan dengan mobilitas tinggi maka dari itu sistem dibuat sedemikian rupa agar memiliki tingkat mobilitas yang tinggi. Oleh sebab itu *signal generator* yang digunakan juga harus memiliki dimensi yang kecil dan bobot yang ringan. Pada kesempatan kali ini *signal generator* tersebut dibangun dengan menggunakan Modul AD9850 dan Arduino Nano sebagai *microcontroller* serta beberapa *filter* untuk memperbaiki keluaran dari *signal generator* ini.

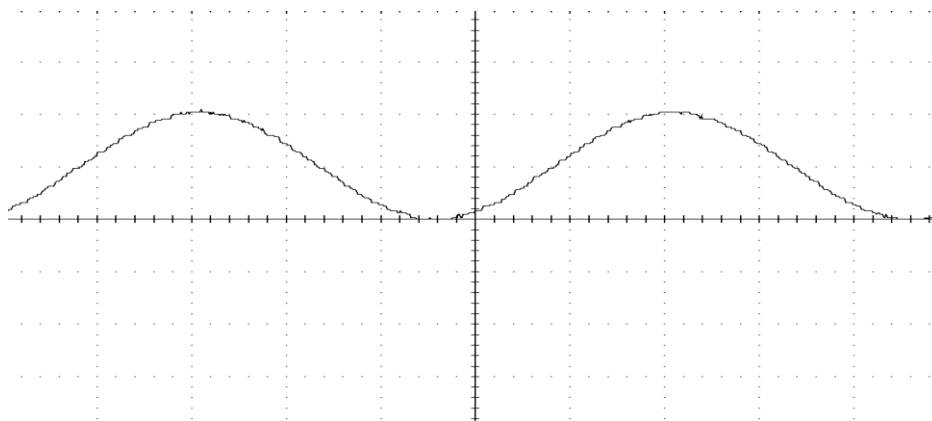
##### **4.1.1. Analisis Pembangkitan Sinyal 10 Vpp 10 kHz**

Sebenarnya dengan hanya menggunakan Modul AD9850 dan Arduino Nano saja sudah dapat membangkitkan sinyal 1 Vpp 10 kHz dengan menggunakan program yang dapat dilihat pada Lampiran A serta rangkaian pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Rangkaian *Signal Generator* Sederhana

Setelah mengupload program ke arduino nano tersebut maka sinyal yang dikeluarkan Modul AD9850 ini memiliki frekuensi 10 kHz seperti yang telah diperintahkan di *listing code*. Modul AD9850 ini dapat mengeluarkan sinyal berbentuk gelombang *sinusoidal* dan gelombang kotak yang masing masing dari sinyal tersebut memiliki tegangan 1 Vpp. Gelombang kotak dapat diambil dari *Pin SQ Wave Out 1* dan *Pin SQ Wave Out 2* kemudian untuk gelombang *sinusoidal* dapat diambil dari *Pin Sine Wave Out 1* dan *Pin Sine Wave Out 2*. Gambar 4.2 berikut ini merupakan sinyal yang diambil dari *Pin Sine Wave Out 1*.

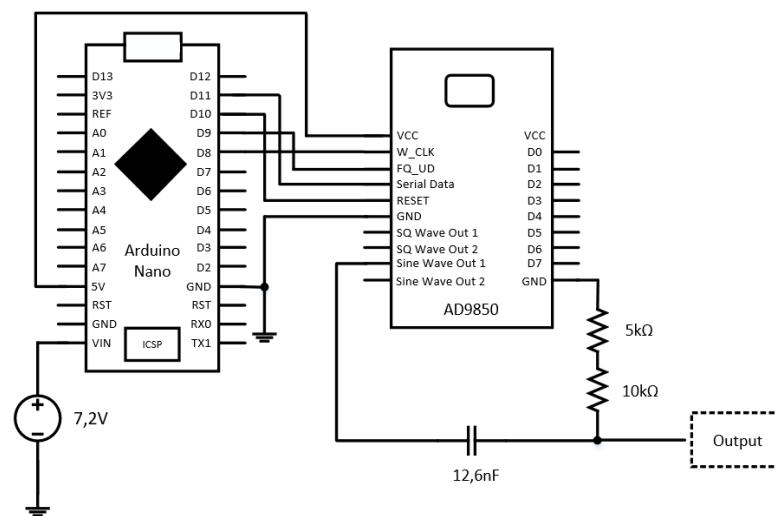


Gambar 4.2 Keluaran *Signal Generator Sine Wave*

Seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.2 bahwa sinyal yang dikeluarkan berbentuk gelombang *sinusoidal* dengan tegangan 1 Vpp dan frekuensi 10 kHz sesuai dengan yang diperintahkan pada *listing code*. Namun jika dilihat secara detail,

dapat dilihat bahwa sinyal tersebut berada pada sumbu positif secara keseluruhan. Hal ini nantinya dapat berdampak pada sensor *Eddy current* yang dimana sensor *Eddy current* ini memerlukan arus bolak balik untuk membolak balikkan polaritas medan magnet yang diinduksi dari kumparan. Sehingga jika arusnya hanya berada pada sumbu positif saja maka polaritas dari medan magnet terinduksi tidak berubah ubah terhadap waktu yang menyebabkan *Eddy current* hanya bangkit sesaat saja ketika *signal generator* dihidupkan dan dimatikan.

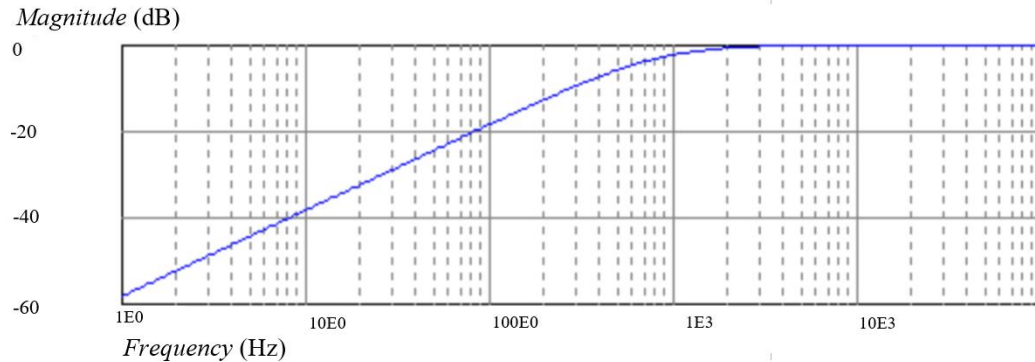
Kondisi sinyal yang berada pada sumbu positif saja dikasus kali ini disebabkan oleh adanya *DC Offset* yang terdapat pada sinyal tersebut. Maka dari itu perlu dibuat rangkaian *DC rejection* untuk mengeliminasi *DC Offset* tersebut. Salah satu komponen yang dapat digunakan adalah kapasitor, dikarenakan sifat dari kapasitor ini sendiri yang dapat menghalangi sinyal DC dan meloloskan sinyal AC. Pada kesempatan kali ini untuk membuat *DC rejection* tersebut digunakan *High Pass Filter* (HPF) dengan frekuensi *cut off* 842 Hz seperti Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Rangkaian *Signal Generator* dengan HPF

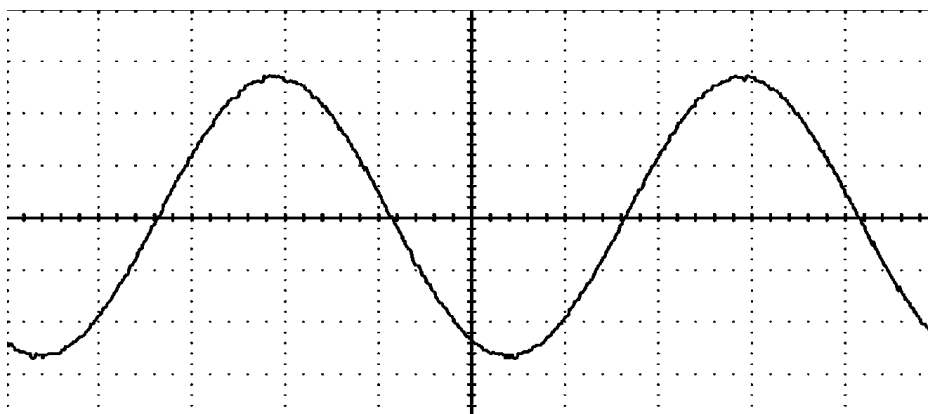
Kapasitor yang digunakan untuk membuat *High Pass Filter* (HPF) ini sebesar 12,6 nF dan dua *resistor* yang disusun secara seri dengan resistansi total 15 k $\Omega$  sehingga berdasarkan Persamaan (2.1) dapat menghasilkan frekuensi *cut toff* sebesar 842 Hz. Rangkaian HPF ini digunakan karena sinyal utama yang dibangkitkan memiliki frekuensi 10 kHz sedangkan sinyal DC memiliki frekuensi 0Hz, maka dari itu sinyal DC dapat terhalang disebabkan semua sinyal di bawah 842 Hz dihalangi oleh HPF ini dan sinyal di atas 842 Hz diloloskan. *High pass filter*

yang digunakan berjenis *filter* analog sehingga grafik frekuensi yang diredampun tidak terlalu curam melainkan sedikit landai seperti yang ditunjukkan pada diagram bode pada Gambar 4.4 berikut ini.



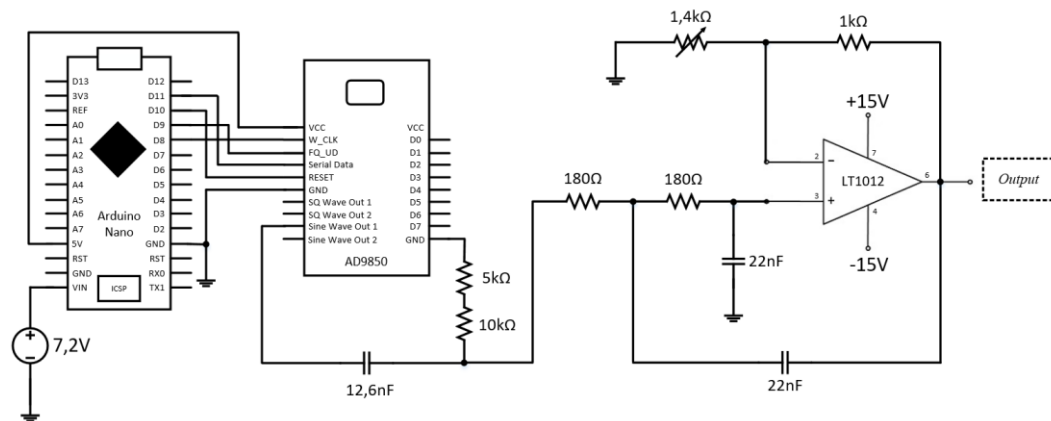
Gambar 4.4 Diagram Bode HPF dengan  $f_c$  842Hz

Dapat dilihat pada diagram bode *High Pass Filter* dengan frekuensi *cut off* 842Hz di Gambar 4.4 bahwa sinyal yang berada pada frekuensi 10 kHz tidak dapat terkena efek redaman dari *filter* ini, dan hal ini yang melandasi nilai frekuensi *cut off* yang digunakan sebesar 842 Hz. Jika frekuensi *cut off* yang digunakan lebih besar maka terdapat kemungkinan sinyal yang berada pada frekuensi 10 kHz juga dapat terkena dampak redaman dari *filter* tersebut yang dimana hal ini tidak diinginkan karena, fungsi dari *filter* ini untuk menghilangkan DC *Offset* saja dan tidak mengganggu sinyal utamanya. Kemudian untuk melihat apakah *filter* yang dibangun sudah berjalan sesuai fungsinya maka perlu dilihat kembali sinyal yang dihasilkan.



Gambar 4.5 Keluaran *Signal Generator* Setelah Diberi HPF

Dapat dilihat pada Gambar 4.5 bahwa sekarang sinyal sudah simetris antara sumbu positif dan negatifnya yang berarti DC *Offset* sudah berhasil dihilangkan. Dikarenakan *signal generator* yang dibuat ini hanya digunakan untuk membangkitkan satu buah sinyal dengan frekuensi 10 kHz saja maka dari itu penulis ingin meminimalisir semua kemungkinan *noise* dari luar yang dapat mempengaruhi *signal generator* ini. Salah satu caranya dengan membuat satu buah *low pass filter* agar nantinya grafik sinyalnya menjadi seperti *band pass filter* yang hanya meloloskan sinyal utama dengan frekuensi 10 kHz saja. *Low Pass Filter* (LPF) yang digunakan kali ini merupakan *Active Low Pass Filter* yang berada pada orde 2 dengan topologi yang digunakan adalah *Sallen Key*. Berikut ini pada Gambar 4.6 merupakan rangkaian *signal generator* setelah diberikan LPF.



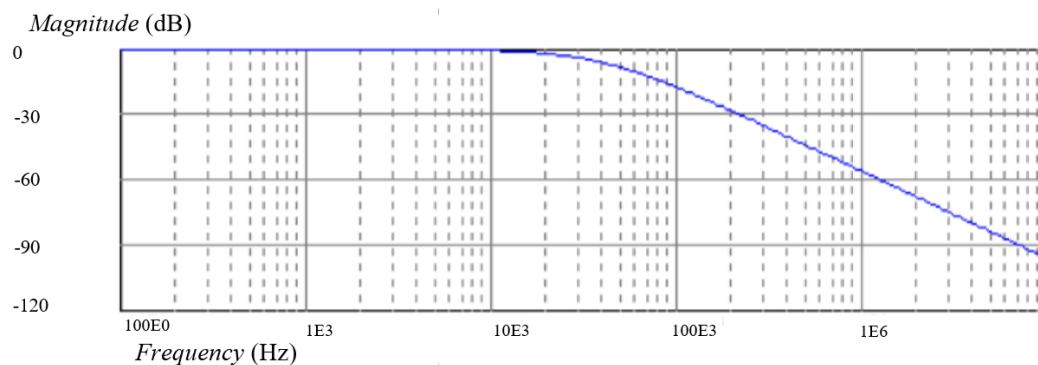
Gambar 4.6 Rangkaian *Signal Generator* dengan HPF dan LPF

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 *filter* tersebut menggunakan IC LT1012 yang dimana IC tersebut merupakan IC Op-amp sehingga jenis rangkaian *filter* ini merupakan *filter* aktif. *Filter* aktif ini digunakan karena memiliki kelebihan terkait stabilitasnya setelah diberikan beban pada sisi keluarannya. Hal ini dapat terjadi karena pada *filter* aktif sebenarnya beban yang diberikan pada keluaran disuplai oleh +15 dan -15 dari Op-Amp tersebut dengan bentuk sinyal sesuai sinyal informasi dari *pin* 3 Op-amp. Atau dengan kata lain masukan dari *signal generator* seolah olah terisolasi dari beban sehingga beban tidak dapat mempengaruhi impedansi total dari komponen *filter*. Jika beban yang dimasukkan pada keluaran dapat mempengaruhi impedansi total pada *filter* maka nilai frekuensi *cut off* juga dapat berubah dan perubahan ini dapat mengganggu keluaran sinyal dari *filter*.



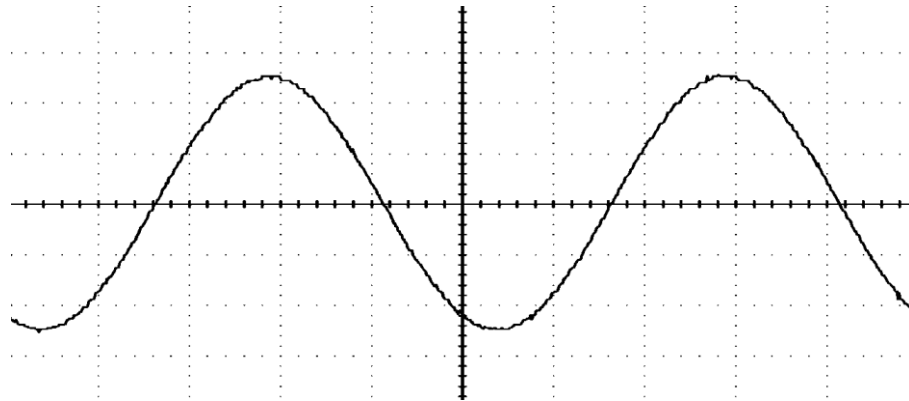
Maka dari itu *filter* aktif dibutuhkan disini untuk menghindari hal tersebut. Sinyal dari *filter* inipun juga diberi penguatan sebesar 1.7 kali menggunakan *resistor* 1 k $\Omega$  dan 1,4 k $\Omega$  agar sinyal yang dikeluarkan dari *signal generator* ini tepat 1 Vpp dengan frekuensi 10 kHz.

Pada LPF tersebut juga dapat dilihat kapasitor yang digunakan berjumlah dua buah dengan nilai kapasitansi masing-masing 22 nF serta dua buah *resistor* dengan resistansi masing-masing 180  $\Omega$ . Sehingga berdasarkan Persamaan (2.2) dapat menghasilkan nilai frekuensi *cut off* sebesar 40,19 kHz. Kemudian jika dilihat diagram bode dari *Low Pass Filter* ini menjadi seperti Gambar 4.7 berikut.



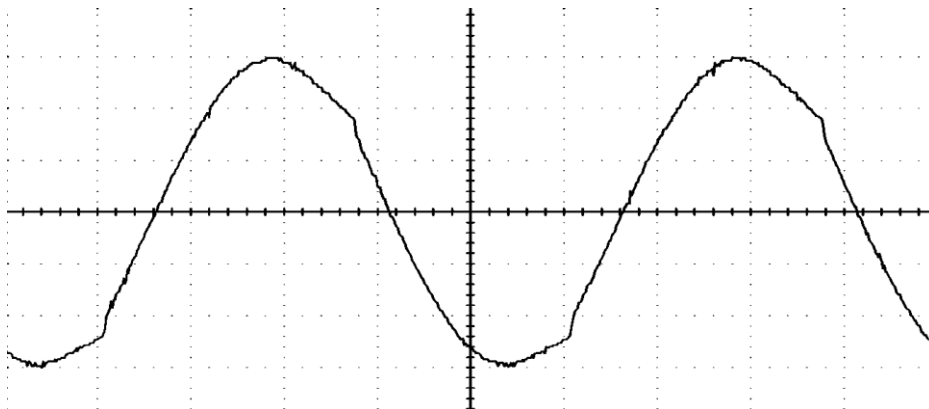
Gambar 4.7 Diagram Bode LPF dengan  $f_c$  40,19 kHz

Dapat dilihat pada Gambar 4.7 bahwa sinyal 10 kHz tidak dapat terkena efek redaman yang dimana hal ini yang menjadi landasan kenapa frekuensi *cut off* yang digunakan sebesar 40,19 kHz. Sehingga jika digabungkan dengan HPF yang telah dibuat sebelumnya maka keluaran *signal generator* ini jika terdapat sinyal dengan frekuensi selain 10 kHz langsung diredam yang dimana tujuan dari hal ini untuk meminimalisir *noise* yang bisa saja disebabkan oleh faktor dari luar. Kemudian untuk melihat hasilnya apakah sudah sesuai yang diinginkan maka perlu dicek kembali sinyalnya. Pada Gambar 4.8 merupakan hasil *signal generator* setelah diberi LPF.



Gambar 4.8 Keluaran *Signal Generator* Setelah Diberi LPF

Bisa dilihat pada Gambar 4.8 bahwa sinyal yang dihasilkan sudah sesuai keinginan yaitu 1 Vpp 10 kHz dengan bentuk sinyal *sinusoidal* bersih tanpa *noise*. Jika diperhatikan pada Gambar 4.6 IC yang digunakan adalah IC LT1012 bukan IC LM741 yang lebih umum digunakan sebagai op-amp. Hal ini disebabkan karena terdapat kelebihan dari IC LT1012 dibanding LM741 yaitu lebih tahan terhadap *noise* walaupun IC LT1012 juga memiliki kelemahan dalam penguatan tegangan yang cukup tinggi sehingga untuk rangkaian penguat tegangan 10 Vpp nanti tidak menggunakan IC LT1012. Berikut ini pada Gambar 4.9 merupakan contoh sinyal keluaran jika IC LT1012 diganti dengan IC LM741.

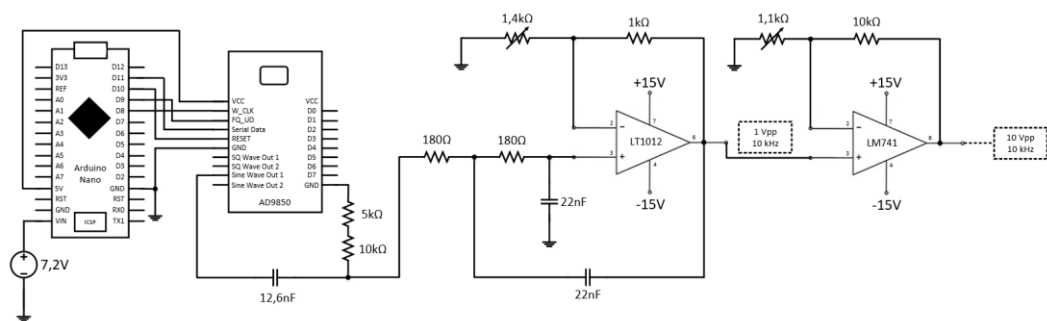


Gambar 4.9 Keluaran *Signal Generator* dengan IC LM741

Bisa dilihat perbandingan antara IC LM741 pada Gambar 4.9 dan IC LT1012 pada Gambar 4.8. Terlihat bahwa ketika menggunakan IC LM741 sinyal tidak mulus berbentuk *sinusoidal* melainkan terdapat sedikit patahan pada sinyal keluarannya walaupun *noise* tersebut terkadang berpindah pada sumbu 0 ataupun

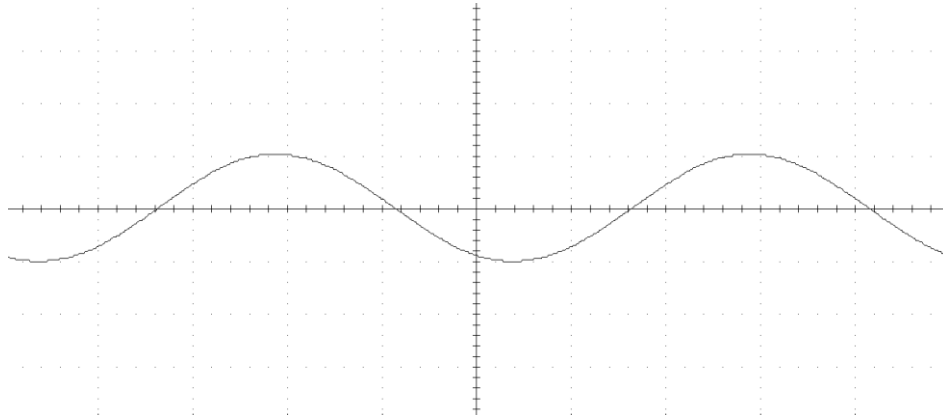
pada bagian puncak dan lembah yang berarti letak *noise* ini tidak dapat diprediksi secara pasti posisinya. Maka dari itu untuk menanggulangi hal ini digunakan IC LT1012 yang lebih tahan terhadap *noise* sehingga sinyal yang dihasilkanpun lebih baik seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.8.

Dikarenakan keluaran sinyal dari *signal generator mini* yang dibuat ini masih memiliki tegangan 1 Vpp maka dari itu tidak cukup jika digunakan untuk menyuplai sensor *Eddy current*. Untuk menyuplai sensor *Eddy current* ini diperlukan tegangan sebesar 10 Vpp, maka dari itu sinyal dari *signal generator* tersebut perlu diperkuat lagi sebelum digunakan. Berikut ini pada Gambar 4.10 merupakan rangkaian yang digunakan untuk menguatkan sinyal sampai 10 Vpp.



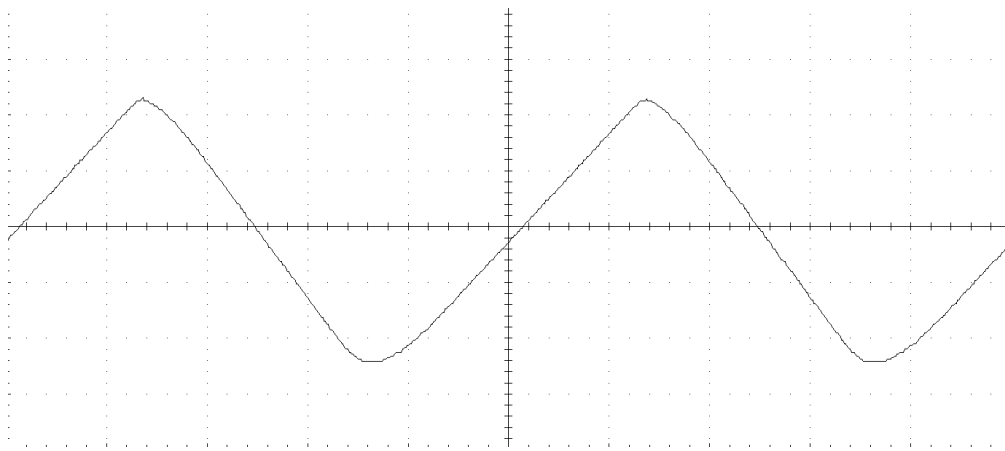
Gambar 4.10 Rangkaian *Signal Generator* Setelah Diperkuat

Bisa dilihat pada Gambar 4.10 bahwa untuk menguatkan tegangan ke 10 Vpp tidak menggunakan IC LT1012 melainkan IC LM741 dikarenakan IC LM741 lebih baik jika digunakan untuk menguatkan tegangan yang cukup tinggi. Bisa dilihat juga pada rangkaian Gambar 4.10 bahwa digunakan *resistor* dengan resistansi 10 kΩ dan 1,1 kΩ yang jika berdasarkan Persamaan (2.3) maka *gain* yang dihasilkan sebesar 10x. Dikarenakan keluaran dari LPF dimasukkan pada *pin* 3 maka penguatan pada op-amp ini bersifat *non-inverting* yang berarti fase antara masukan dan keluarannya sama. Berikut ini pada Gambar 4.11 merupakan keluaran sinyal dari rangkaian *signal generator* setelah diperkuat.



Gambar 4.11 Keluaran *Signal Generator* Setelah Diperkuat

Bisa dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan telah sesuai dengan keinginan yaitu memiliki tegangan 10 Vpp dan frekuensi 10 kHz dengan bentuk gelombang *sinusoidal* tanpa *noise*. Setelah itu baru sinyal dari *signal generator* ini dapat digunakan untuk menyuplai sensor *Eddy current*. Sebagai perbandingan pada Gambar 4.11 menggunakan IC LM741 sedangkan jika menggunakan IC LT1012 maka hasilnya menjadi seperti pada Gambar 4.12 berikut.

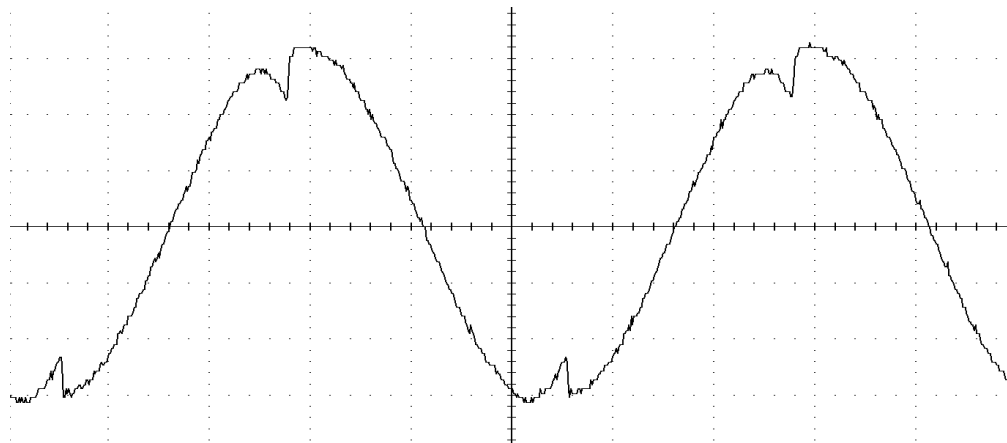


Gambar 4.12 Keluaran *Signal Generator* Menggunakan IC LT1012

Bisa dilihat bahwa bentuk gelombang berubah menjadi segitiga dan bukan lagi berbentuk *sinusoidal*. Kemudian jika dipaksakan untuk dinaikan terus tegangannya maka keluaran dapat lepas sampai ke 28 Vpp dan jika dibiarkan maka dapat merusak IC tersebut. Hal ini disebabkan karena IC LT1012 ini tidak cukup baik dalam penguatan ditekangan yang cukup tinggi. Maka dari itu untuk penguatan ke 10 Vpp digunakan IC LM741 seperti pada Gambar 4.10.

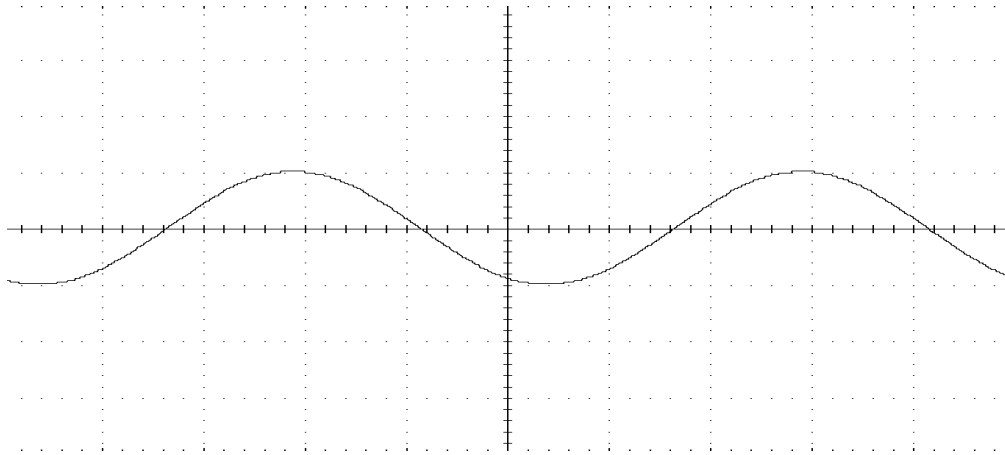
#### 4.1.2. Analisis Pembangkitan Sinyal saat Diberi Pembebanan Sensor

Pada *power supply* ataupun *signal generator* yang dibangun secara sederhana biasanya tidak memiliki ketahanan sistem yang baik terhadap efek pembebanan. Maka dari itu biasanya ketika suatu *signal generator* diberikan suatu beban tertentu maka keluaran sinyalnya pun dapat mengalami perubahan. Semakin baik suatu sistem pembangkit sinyal tersebut dapat mempertahankan bentuk sinyalnya maka semakin kompleks rangkainnya dan hal inipun dapat berdampak pada harga barang itu sendiri. Pada rangkaian *signal generator mini* yang dibuat kali ini menggunakan penguat tegangan IC LM741CN yang dimana IC tersebut merupakan IC palsu buatan dari China. Hal ini menyebabkan efek yang cukup serius ketika *signal generator* diberikan beban sensor *Eddy current testing*. Berikut ini pada Gambar 4.13 merupakan hasil keluaran *signal generator* setelah diberikan beban sensor *Eddy current*.



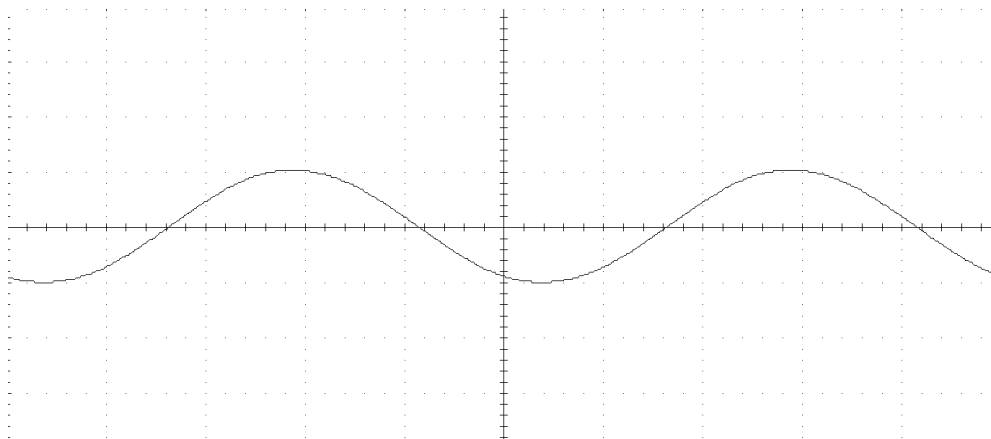
Gambar 4.13 Bentuk Keluaran *Signal Generator* Setelah Diberikan Beban

Bisa dilihat pada Gambar 4.13 bahwa sinyal tidak lagi berbentuk sinusoidal sempurna melainkan terdapat sedikit cacat pada bagian puncak dan lembah gelombang. Walaupun dalam kondisi tanpa beban sensor *Eddy current*, keluaran *signal generator* ini berbentuk *sinusoidal* sempurna. Hal ini dapat diselesaikan dengan mengganti IC LM741CN ini dengan IC LM741CP buatan *Texas Instruments*. Berikut ini pada Gambar 4.14 merupakan keluaran *signal generator* ketika menggunakan IC LM741CP.



Gambar 4.14 Keluaran Sinyal dengan Beban Menggunakan LM741CP

Bisa dilihat pada Gambar 4.14 di atas bahwa bentuk gelombang dari sinyal keluaran ketika diberikan efek pembebanan tidak terjadi gangguan atau dapat dikatakan gelombang sinyal tetap stabil. Sedangkan untuk kondisi keluaran *signal generator* tanpa beban dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut ini.



Gambar 4.15 Keluaran Sinyal Tanpa Beban Menggunakan LM741CP

Bisa dilihat dari Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 tidak ada perbedaan bentuk gelombang ketika tidak diberi beban dan diberikan beban sensor *Eddy current*, yang berarti IC LM741CP ini sudah dapat menyelesaikan *noise* pada efek pembebanan menggunakan IC LM741CN walaupun ketika diberikan beban amplitudonya sedikit menurun namun penurunannya tidak terlalu signifikan sehingga dapat diabaikan.

#### 4.2. Analisis Sensor *Eddy Current Testing* dengan *Signal Generator Mini*

*Eddy Current Testing* adalah suatu metode pengujian yang memanfaatkan *Eddy current* untuk mendeteksi adanya kerusakan pada suatu benda uji logam. Sensor *Eddy current testing* sendiri dibangun dengan dua kumparan yang dimana kumparan pertama bertindak sebagai pengirim sinyal sedangkan kumparan kedua sebagai penerima sinyal. Ketika suatu kumparan diberikan arus bolak balik maka di sekitar kumparan tersebut dapat tercipta medan magnet dengan polaritas yang berubah ubah juga mengikuti frekuensi dari sumber. Jika medan magnet ini menembus suatu benda logam maka di permukaan logam tersebut dapat timbul *Eddy current*.

Ketika suatu kumparan berada di dekat *Eddy current* maka di kedua ujung kumparan tersebut dapat tercipta perbedaan potensial. Perbedaan potensial ini yang dibaca oleh kumparan Rx sebagai sinyal *feedback*. Berikut ini pada Gambar 4.16 merupakan gambar dari sensor *Eddy current testing* yang dibuat.



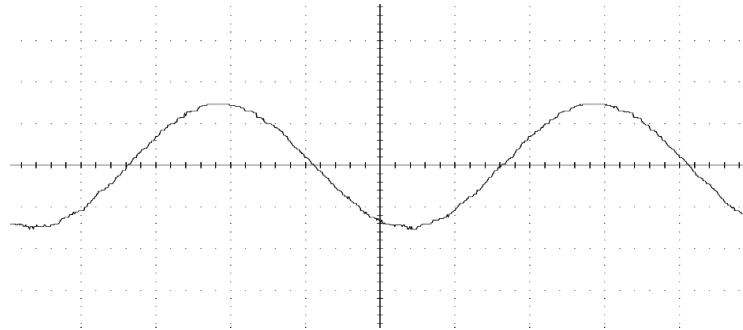
Gambar 4.16 Sensor *Eddy Current Testing*

Dapat dilihat pada Gambar 4.16 bahwa sensor *Eddy current testing* dibangun dari kumparan Rx dan Tx. Kumparan Tx nantinya diberikan sumber AC dari *signal generator mini* yang telah dibuat untuk membangkitkan *Eddy current* pada permukaan benda uji sedangkan kumparan Rx menerima efek *Eddy current* tersebut dan kemudian dibaca oleh osiloskop.

##### 4.2.1. Analisis Pengaruh *Crack* pada Benda Uji

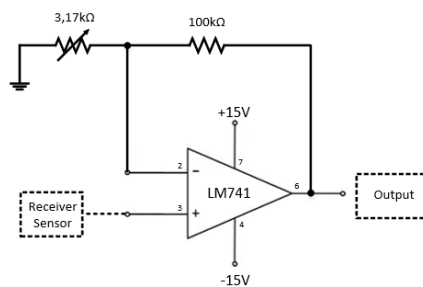
Sumber yang digunakan untuk menyuplai kumparan Tx memiliki tegangan 10 Vpp dengan frekuensi 10 kHz. Sumber tersebut cukup untuk membangkitkan

*Eddy current* pada permukaan benda uji yang nantinya dibaca oleh kumparan Rx. Berikut ini pada Gambar 4.17 merupakan *output* sinyal kumparan Rx ketika sensor berada pada benda uji yang tidak terdapat *crack*.



Gambar 4.17 Keluaran Sinyal dari Kumparan Rx

Bisa dilihat pada Gambar 4.17 bahwa ketika suplai tegangan AC diberikan pada kumparan Tx maka pada kumparan Rx terdapat tegangan AC juga yang didapat dari efek induksi magnetik dari kumparan Tx dan induksi dari *Eddy current* pada permukaan benda uji. Namun bisa dilihat juga pada kumparan tersebut bahwa tegangan yang terbaca masih sangat kecil yaitu 314 mV. Hal ini dapat mempengaruhi hasil pengujian nantinya dikarenakan semakin kecil *range* maka semakin kecil juga resolusi pengujian pada *software* yang dibuat. Maka dari itu, perlu dibuat suatu penguat tegangan agar sinyal dari kumparan Rx ini memiliki resolusi yang lebih besar lagi. Berikut ini adalah rangkaian yang digunakan untuk menguatkan tegangan dari kumparan Rx.

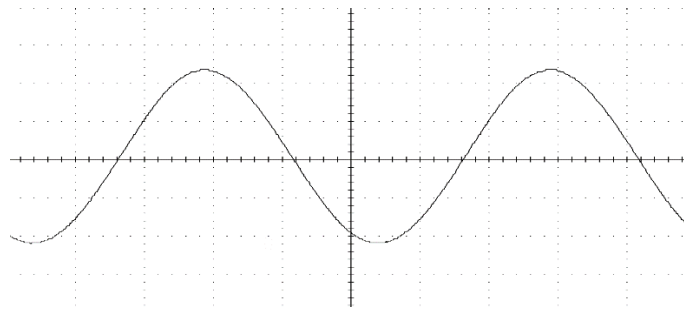


Gambar 4.18 Penguat Tegangan Kumparan Rx

Penguat tegangan kumparan Rx ini menggunakan jenis *non-inverting* sehingga nantinya fase sinyal masukan dan keluaran tidak berubah sedangkan untuk amplitudonya diperkuat. Berdasarkan Persamaan (2.3) maka penguat yang dibuat kali ini memiliki nilai penguatan sebesar 32,5 kali. Nantinya keluaran sinyal dari



kumparan Rx ini diperkuat amplitudonya sebesar 32,5 kali. Berikut ini pada Gambar 4.19 merupakan keluaran sinyal kumparan Rx setelah diperkuat.



Gambar 4.19 Keluaran Sinyal dari Kumparan Rx Setelah Diperkuat

Bisa dilihat pada Gambar 4.19 bahwa sekarang keluaran sinyal yang terbaca menjadi lebih kuat amplitudonya dan resolusinya pun semakin besar. Sebagai perbandingan berikut ini pada Tabel 4.1 merupakan hasil pengujian resolusi sensor saat sebelum diperkuat dan setelah diperkuat.

Tabel 4.1 Hubungan Jarak Lubang dengan Sinyal Rx Sebelum Diperkuat

Sebelum diperkuat	
Jarak (mm)	Vrms (mV)
-10	102
-9	100
-8	103
-7	101
-6	102
-5	105
-4	109
-3	111
-2	112
-1	114
0	114
1	114
2	112
3	111
4	110
5	107
6	106
7	105
8	105
9	104
10	104

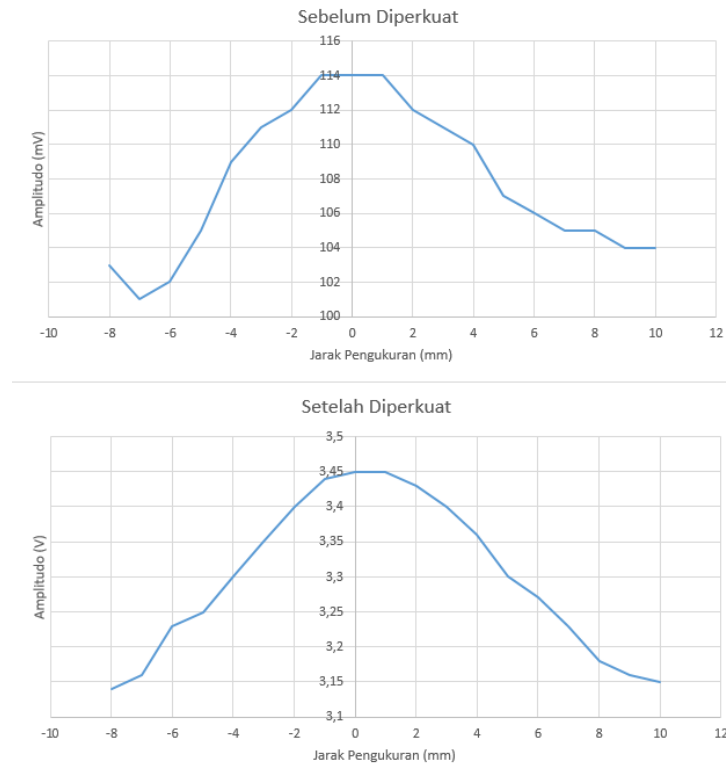
Bisa dilihat pada Tabel 4.1 diatas terdapat 21 titik pengukuran dimana titik pengukuran tersebut diambil 10 mm kearah kiri dari titik tengah lubang dan 10 mm kearah kanan dari titik tengah lubang. Kemudian untuk hasil pengukuran setelah sensor diberikan penguatan dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Hubungan Jarak Lubang dengan Sinyal Rx Setelah Diperkuat

Setelah diperkuat	
Jarak (mm)	Vrms (V)
-10	3,14
-9	3,14
-8	3,14
-7	3,16
-6	3,23
-5	3,25
-4	3,3
-3	3,35
-2	3,4
-1	3,44
0	3,45
1	3,45
2	3,43
3	3,4
4	3,36
5	3,3
6	3,27
7	3,23
8	3,18
9	3,16
10	3,15

Bisa dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 tersebut bahwa resolusi ketika sensor sebelum diperkuat dan sesudah diperkuat terdapat peningkatan. Pada saat sinyal belum diperkuat, *range* antara sensor saat berada tepat di atas lubang (jarak 0 mm) dengan jarak sensor berada jauh dari lubang (jarak  $\pm 10$  mm) memiliki Vrms sekitar 10 mV sampai 12 mV sedangkan pada saat sinyal telah diperkuat *range* membesar menjadi sekitar 300 mV. Semakin besar *range* maka semakin baik hasil pengujiannya karena nantinya hasil pengujian menjadi lebih teliti dan halus. Data pada Tabel 4.1 diatas dapat disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah

melihat trennya. Berikut pada Gambar 4.20 merupakan grafik *trend* dari data pada Tabel 4.1.



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Resolusi Sensor

Bisa dilihat pada Gambar 4.20 bahwa hasil sinyal setelah diperkuat menjadi lebih stabil dan lebih halus sedangkan untuk sinyal yang belum diperkuat sinyalnya cenderung tidak stabil dan patah-patah dengan variasi jarak pengukuran yang disebabkan karena resolusi antar keduanya berbeda cukup jauh. Semakin besar resolusinya maka semakin baik juga kemampuan sensor tersebut untuk mendeteksi seberapa parah kerusakan pada benda uji. Berikut ini pada Gambar 4.21 merupakan ilustrasi pendeteksian sensor dengan cara menggerakkan sensor satu arah.



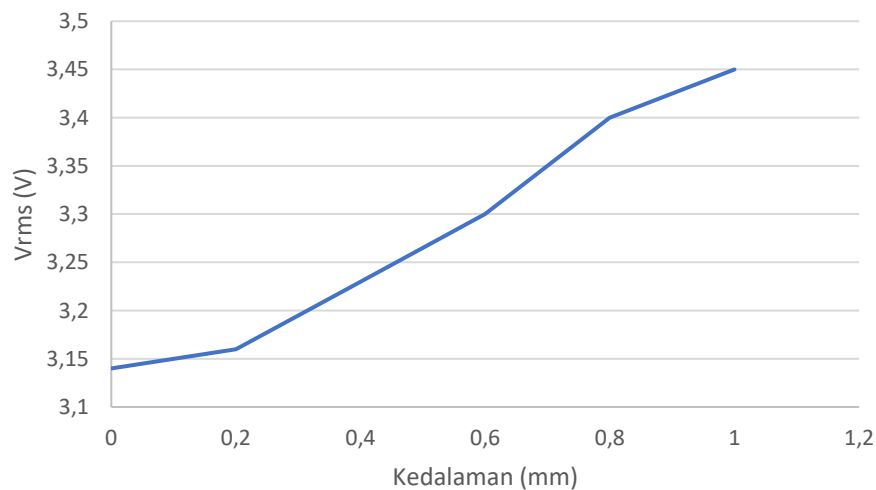
Gambar 4.21 Keluaran Sinyal Kumparan Rx Saat Digunakan untuk Pengujian

Pada Gambar 4.21 bagian atas adalah *contour plot* dari sinyal ketika belum diperkuat dan bagian bawah adalah *contour plot* dari sinyal setelah diperkuat. Bisa dilihat pada Gambar 4.21 ketika sensor digerakan searah melewati lubang maka keluaran sinyal setelah diperkuat memiliki gradasi warna yang lebih halus dan stabil jika dibandingkan dengan keluaran sinyal tanpa diperkuat. Hal ini dapat terjadi karena kemampuan sensor dalam mendeteksi tingkat kerusakan pada keluaran sinyal setelah diperkuat menjadi lebih baik jika dibandingkan dengan keluaran sinyal tanpa diperkuat. Gradasi warna ini terjadi karena lubang yang digunakan memiliki kedalaman yang tidak seragam melainkan berbentuk kerucut yang dimana puncak terdalamnya berada pada bagian tengah lubang seperti pada Gambar 4.22 berikut.



Gambar 4.22 Bentuk Lubang pada Benda Uji

Supaya mempermudah analisis tentang pengaruh *crack* terhadap sinyal keluaran pada kumparan Rx berikut ini pada Gambar 4.23 disajikan data dalam bentuk grafik.



Gambar 4.23 Grafik Efek Kedalaman Lubang pada Sinyal Kumparan Rx

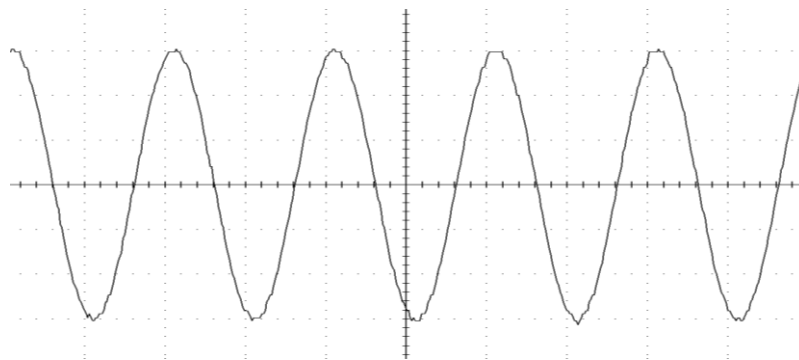
Dapat dilihat pada grafik 4.23 bahwa semakin dalam lubangnya maka sinyal yang terbaca pada kumparan Rx ini juga semakin besar. Hal ini disebabkan karena kumparan Rx ini sebenarnya terdampak oleh dua sumber medan magnet yang menginduksinya yaitu medan magnet yang berasal dari kumparan Tx yang letaknya berdekatan dengan kumparan Rx dan juga medan magnet yang berasal dari *Eddy current* pada benda uji.

Dikarenakan medan magnet dari *Eddy current* dan kumparan Tx ini saling berlawanan maka dari itu semakin besar *Eddy current* maka semakin kecil nilai yang terbaca sedangkan semakin kecil nilai *Eddy current* maka semakin besar nilai yang terbaca pada kumparan Rx, dikarenakan nilai pada kumparan Rx ini adalah gabungan dari sinyal kumparan Tx dan *Eddy current* pada benda uji. *Eddy current* yang dibangkitkan pada permukaan benda uji dapat dipengaruhi oleh jenis logam yang digunakan dan bentuk dari benda logam tersebut apakah terdapat kerusakan atau tidak. Semakin besar tingkat kerusakan pada benda uji maka *Eddy current* yang terciptapun semakin lemah begitupula sebaliknya. Sehingga dapat dikatakan semakin besar kerusakannya atau semakin dalam lubangnya maka *Eddy current* semakin kecil dan medan magnet yang menentang dari kumparan Tx semakin kecil sehingga nilai yang terbaca pada kumparan Rx semakin besar.

#### 4.2.2. Analisis Efek *Noise* pada Pembacaan Sensor

*Noise* atau gangguan merupakan sebuah gejala alam yang tidak dapat dihindari namun dapat diminimalisir. *Noise* pada sinyal dapat sangat mengganggu sinyal tersebut seperti bentuk dari sinyal yang tidak beraturan serta tegangannya yang menjadi tidak stabil. Sensor *Eddy current testing* yang dibuat sangat sensitif terhadap *noise* yang ada disekitar seperti contohnya *noise Electromagnetic Interference* (EMI).

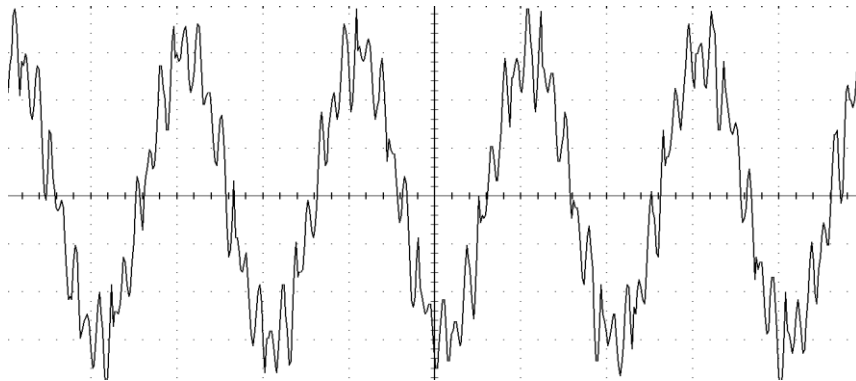
*Noise* EMI ini dapat terjadi karena efek dari gelombang *elektromagnetic* yang diciptakan oleh komponen-komponen yang ada disekitar sensor. Salah satu contoh dari sumber *noise* EMI yang sangat kuat adalah penggunaan *power supply* jenis *switching*. *Power supply* ini memiliki banyak keuntungan seperti murah, ringan, dan daya tahan yang kuat jika digunakan secara terus menerus. Namun jenis *power supply* ini memiliki kekurangan yang cukup mengganggu jika digunakan di dekat sensor *Eddy current testing* yang sensitif. Kekurangan tersebut adalah *noise* EMI yang sangat kuat. Hal ini disebabkan karena efek dari *switching transistor* pada sistem *power supply* tersebut yang sangat tinggi sehingga dapat menimbulkan *noise* EMI di sekitar *power supply* tersebut. *Noise* EMI ini juga selain dihasilkan oleh *switching transistor* dapat disebabkan karena putaran kipas untuk mendinginkan *power supply* ini yang sangat tinggi sehingga dapat menambah efek *noise* EMI dari *switching power supply*. Berikut ini pada Gambar 4.24 merupakan contoh dari bentuk sinyal *Eddy current testing* saat *switching power supply* tidak dihidupkan.



Gambar 4.24 Keluaran Sinyal Tanpa *Noise*

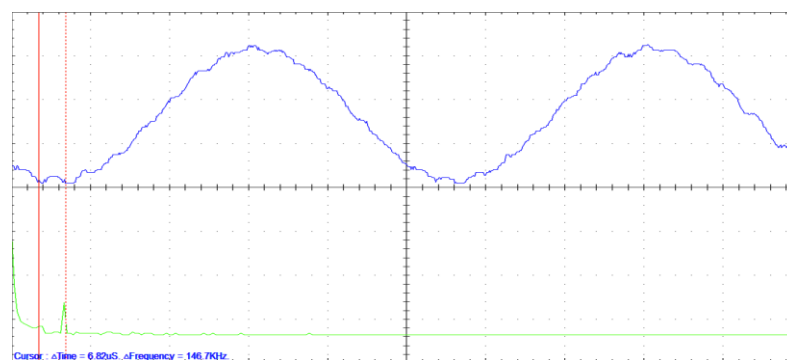
Dapat dilihat pada Gambar 4.24 bahwa bentuk sinyal terlihat normal berbentuk *sinusoidal* dan tegangannya pun cukup stabil. Sedangkan ketika

*switching power supply* dinyalakan maka *noise* EMI dapat merusak bentuk sinyal tersebut seperti pada Gambar 4.25 ini.



Gambar 4.25 Keluaran Sinyal dengan *Noise*

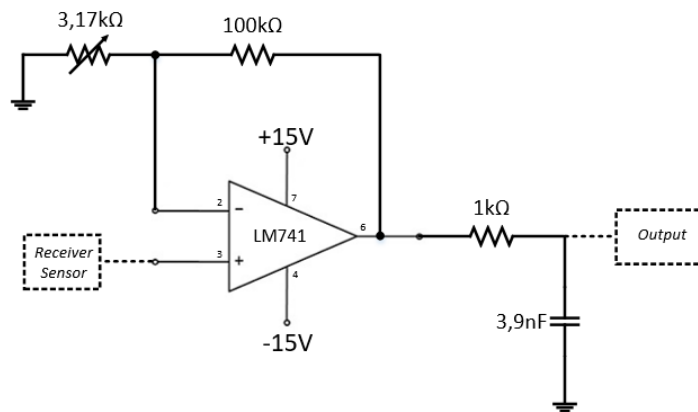
Bisa dilihat pada Gambar 4.25 tersebut bahwa *noise* EMI sangat merusak gelombang sinyal utama yang hasilnya saat ini sudah tidak lagi berbentuk *sinusoidal*. Selain itu tegangan yang terbaca pun menjadi sangat tidak stabil walaupun sensor tidak dipindah posisikan pada benda uji. Dikarenakan untuk mendeteksi *crack* pada benda uji ini memanfaatkan  $V_{rms}$  dari keluaran sinyal maka dari itu sebisa mungkin *noise* ini harus dihilangkan agar  $V_{rms}$  menjadi lebih stabil nilainya. Untuk menghilangkan *noise* tersebut dapat dilakukan dengan menganalisis berada pada frekuensi berapakah *noise* yang sangat mengganggu sinyal utama 10 kHz. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Fast Fourier Transform* (FFT) seperti pada Gambar 4.26 berikut.



Gambar 4.26 Sinyal Ber-*noise* dengan FFT

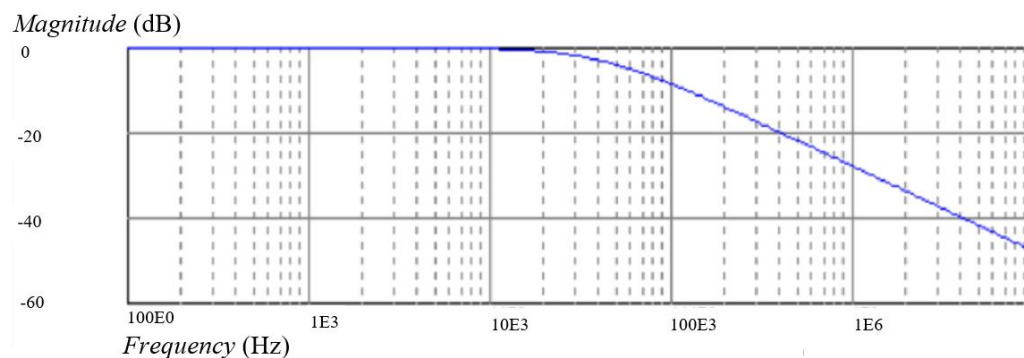
Gelombang berwarna biru merupakan gelombang sinyal ber-*noise* tadi sedangkan grafik berwarna hijau merupakan FFT dari gelombang tersebut. Dapat dilihat selain sinyal utama 10 kHz, terdapat sinyal yang dominan juga dan memiliki

amplitudo yang cukup besar pada frekuensi tinggi yaitu berada di atas 140kHz. Sinyal 140 kHz tersebut merupakan sinyal *noise* yang tidak diinginkan maka dari itu sinyal tersebut perlu dihilangkan menggunakan *Low Pass Filter*. Berikut ini pada Gambar 4.27 merupakan hasil rangkaian dari Gambar 4.18 setelah diberikan *filter* untuk meredam *noise* EMI ini.



Gambar 4.27 Penguat Tegangan Rx Setelah Diberi *Low Pass Filter*

Dapat dilihat pada Gambar 4.27 digunakan 1 buah *resistor* berukuran 1kΩ dan kapasitor berukuran 3,9nF yang berarti LPF ini memiliki frekuensi *cut off* sebesar 40 kHz. Berikut ini pada Gambar 4.28 merupakan diagram bode dari LPF tersebut.

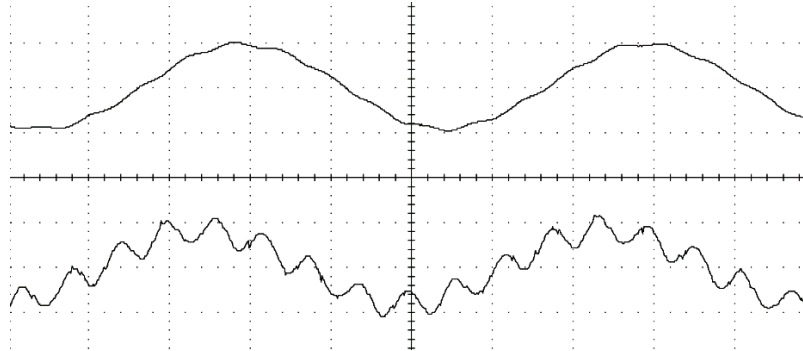


Gambar 4.28 Diagram Bode *Low Pass Filter* dengan  $f_c$  40kHz

Dapat dilihat pada Gambar 4.28 bahwa sinyal dengan frekuensi 10 kHz tidak teredam yang berarti sinyal utama tidak dapat terganggu namun sinyal di atas 100 kHz (sinyal *noise*) dapat teredam walaupun tidak benar benar teredam sepenuhnya. Untuk melihat apakah *filter* yang dibangun ini sudah cukup meredam



*noise* EMI dari *switching power supply* perlu dilihat kembali keluaran sinyalnya. Berikut pada Gambar 4.29 merupakan keluaran sinyal sebelum dan sesudah diberi *filter*.



Gambar 4.29 Keluaran Sinyal Ber-*noise* Sesudah dan Sebelum Diberi *Filter*

Sinyal pada sumbu positif di Gambar 4.29 merupakan sinyal setelah diberi LPF sedangkan sinyal pada sumbu negatif merupakan sinyal sebelum diberi LPF. Dapat dilihat perbedaan dari kedua sinyal tersebut bahwa *noise* EMI yang ada sudah dapat diredam walaupun peredamannya tidak terlalu besar namun sudah cukup untuk membuat keluaran dari sinyal tersebut stabil, dengan begitu berarti *filter* yang dibuat sudah berhasil meredam *noise* tersebut dan sistem sudah dapat digunakan untuk mendeteksi lubang pada benda uji.

### 4.3. Pembuatan Aplikasi *NDT Controller and Monitoring*

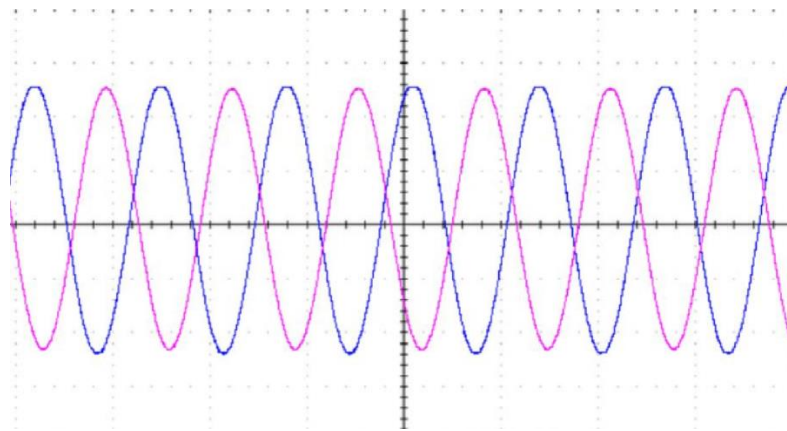
Setelah sensor untuk mendeteksi *crack* pada benda uji sudah siap digunakan kemudian, dibuat sistem untuk menggerakkan sensor tersebut agar dapat memindai secara manual dan otomatis benda uji. Pembuatan alat ini didasari dari besarnya faktor *human error* dalam pengambilan data pada *Eddy current testing* ini sehingga dibuat alat menggunakan mekanikal 3D *Printer* Prusa I3 untuk menggerakkan sensor tersebut keseluruhan benda uji secara seragam sehingga faktor kesalahan manusia dalam mengoperasikan sensor dapat diminimalisir.

#### 4.3.1. Pengambilan Data dari Hantek 6022BE

Pengambilan data dari sensor *Eddy current testing* diperlukan sebuah perangkat keras yang dapat membaca sinyal yang dikirim oleh sensor *Eddy current testing*. Untuk alat yang digunakan kali ini adalah Hantek 6022BE yang nantinya data dari hantek ini diambil dan ditampilkan pada aplikasi *NDT Controller and*

*Monitoring* yang dibangun menggunakan Visual Basic 6.0. Untuk proses pengambilan data ini dilakukan oleh hantek dengan cara mencuplik nilai tegangan yang dibaca pada keluaran sensor. Nilai hasil cuplik tersebut ditampung pada sebuah *array*. *Array* tersebut diberi nama `m_nCH1Data` untuk *channel* 1 dan `m_nCH2Data` untuk *channel* 2 dengan masing-masing *array* dapat menampung data *integer* sebanyak 10240 data.

Setelah data tersebut berhasil disimpan kedalam *array* kemudian data-data tersebut digambar ulang dalam bentuk garis yang merepresentasikan bentuk sinyal dari sensor. Berikut ini pada Gambar 4.30 merupakan hasilnya.

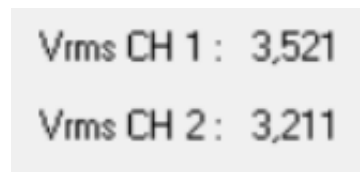


Gambar 4.30 *Digital Oscilloscope* dengan Visual Basic 6.0

Dapat dilihat pada Gambar 4.30 terdapat dua sinyal yang berhasil diambil nilainya kedalam masing-masing *array* dan kemudian digambar ulang bentuk sinyalnya menggunakan aplikasi Visual Basic 6.0. Sinyal berwarna biru adalah sinyal yang berasal dari *signal generator mini* sedangkan sinyal berwarna ungu adalah sinyal yang berasal dari sensor *Eddy current* setelah diperkuat. Setelah bentuk sinyal berhasil didapat kemudian perlu juga untuk mengambil nilai parameter pada sinyal tersebut seperti  $V_{pp}$  dan  $V_{rms}$  pada kedua *channel*.

Pengambilan nilai  $V_{pp}$  *channel* 1 dilakukan dengan cara mengambil nilai *min* dan *max* dari *array* `m_nCH1Data` kemudian dari kedua data *min* dan *max* tersebut dapat diambil selisihnya yang dimana selisihnya tersebut merupakan tegangan puncak ke puncak ( $V_{pp}$ ) dari *channel* 1. Setelah  $V_{pp}$  berhasil didapat kemudian untuk mencari nilai  $V_{rms}$  dapat dilakukan dengan cara membaginya dengan  $2\sqrt{2}$ . Untuk *channel* 2 juga dilakukan dengan cara yang sama dan setelah

itu data tersebut dapat ditampilkan pada aplikasi GUI NDT *Controller and Monitoring* seperti Gambar 4.31 berikut.



Vrms CH 1 : 3,521  
Vrms CH 2 : 3,211

Gambar 4.31 Nilai Vrms Dari *Channel* 1 dan *Channel* 2 pada Aplikasi GUI

Tingkat kerusakan pada benda uji dapat dilihat dari penguatan sensor tersebut terhadap sumbernya yang berarti untuk melihat tingkat kerusakan benda uji dapat dicari dengan melihat *gain* dari *channel* 2 terhadap *channel* 1. Setelah *gain* didapat kemudian data tersebut dirubah skalanya menjadi 0 - 100 untuk dijadikan tingkat kerusakan benda uji yang sedang diukur. Berikut pada Gambar 4.32 merupakan hasilnya.



Vrms CH 1 : 3,521   X : 18   Gain : 0,9119  
Vrms CH 2 : 3,211   Y : 18   Damage : 0

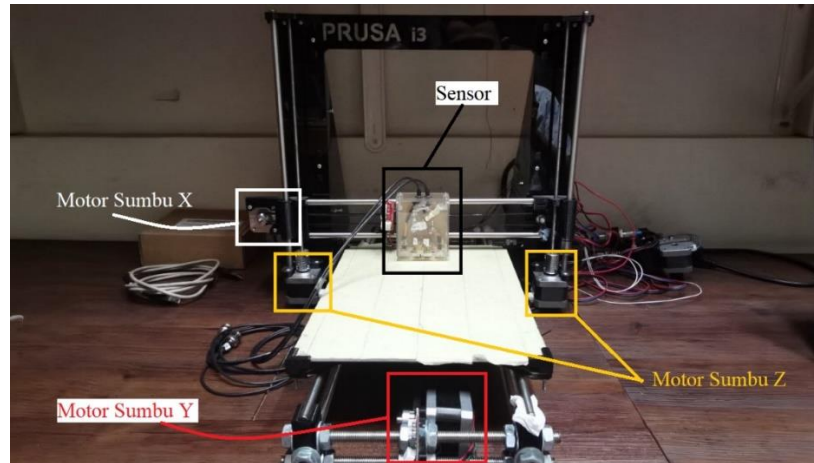
Gambar 4.32 Data Pengukuran Dari Hantek 6022BE

Seperti yang dilihat pada Gambar 4.32 bahwa nilai *damage level* bernilai 0 yang berarti kondisi saat ini sensor berada pada bagian benda uji yang tidak memiliki kerusakan. Sedangkan jika sensor mendeteksi *crack* pada benda uji maka nilai *damage* naik. Nilai *damage* ini sebenarnya merupakan representasi dari nilai *gain*, semakin besar *gain* maka semakin besar juga nilai *damage*, begitupula sebaliknya. Sedangkan nilai *gain* didapat dari pembagian nilai Vrms CH2 dengan Vrms CH1.

#### 4.3.2. Pembuatan Fitur *Controller Sensor Eddy Current Testing*

Kemudian untuk menggerakkan sensor ke seluruh bagian benda uji secara seragam diperlukan fungsi yang dapat menggerakkan setiap *motor stepper* pada mekanikal 3D *Printer*. Untuk menggerakkan setiap motor yang digunakan dilakukan oleh *Microcontroller* Arduino Mega 2560 dengan ditambahkan *shield* Ramps 1.4 untuk menghubungkan arduino dengan *motor driver* AM4988 sebagai *controller*

dari *stepper motor* yang digunakan. Untuk *stepper* yang digunakan adalah *stepper motor* merk Hesai dengan tipe 17HS4401 yang digunakan pada sumbu X, Sumbu Y dan Sumbu Z seperti pada Gambar 4.33 berikut.



Gambar 4.33 Mekanikal *Printer 3D*

Dapat dilihat pada Gambar 4.33 untuk mekanikal dari *3D Printer* ini terdapat 4 *motor stepper* yang dimana 2 *motor stepper* digunakan untuk menggerakkan sensor pada sumbu Z (atas dan bawah) yang dihubungkan dengan besi untuk menyangga sensor *Eddy current testing*. Kemudian 1 *motor stepper* digunakan untuk menggerakkan sensor pada sumbu X (ke kanan dan ke kiri) yang dihubungkan dengan sebuah *belt* bergerigi. Satu *motor stepper* sisanya digunakan untuk menggerakkan *bed* atau tempat menaruh benda uji agar sensor dapat bergerak pada sumbu Y (ke depan dan belakang) yang dihubungkan dengan *belt* bergerigi seperti pada sumbu X.

Pergerakan *motor stepper* ini dapat dilakukan dengan memberikan logika *high* dan *low* secara bergantian pada *pin driver motor* AM4988 seperti pada *listing code* yang ada di lampiran, untuk menggerakkan sensor sejauh 1 mm dapat dilakukan dengan memberikan logika *high* dan *low* secara bergantian sebanyak 80 kali (80 *step*).

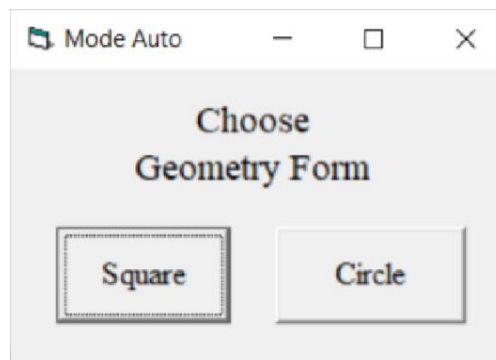
Supaya pengendalian setiap *motor stepper* ini lebih mudah, dibuat sebuah aplikasi berbasis *Graphical User Interface* (GUI) dengan Visual Basic 6.0. Nantinya aplikasi tersebut dihubungkan dengan Arduino Mega 2560 melalui komunikasi *serial* dengan kabel USB. Berikut ini pada Gambar 4.34 merupakan contoh aplikasi yang telah dibuat.



Gambar 4.34 Desain Tampilan Pengendali *Stepper Motor*

Ketika *user* menekan tombol X+ maka aplikasi ini memerintahkan Arduino Mega agar memberikan *pulse* sinyal supaya *motor driver* bergerak 80 *step* yang berarti ketika *user* menekan tombol X+ maka sensor bergerak ke kanan sejauh 1 mm. Sedangkan jika *user* menekan tombol X- maka sensor bergerak ke kiri sejauh 1 mm. Hal ini juga berlaku untuk sumbu Y dan sumbu Z.

Selain mengendalikan sensor secara manual, aplikasi ini juga dapat mengendalikan sensor secara otomatis yaitu dengan cara menekan tombol *auto*. Sebelum menekan tombol *auto* terlebih dahulu sensor perlu dikalibrasi posisinya pada benda uji dengan cara menekan tombol *calibrate*. Setelah tombol *calibrate* ditekan maka sensor menuju titik 0 dari benda uji dan siap digunakan. Kemudian akan muncul tampilan seperti pada Gambar 4.35 berikut.



Gambar 4.35 Form Pilihan Bentuk *Geometry*

Setelah tombol *auto* ditekan maka *user* diberikan pilihan bentuk *geometry* dari pemindaian yang dilakukan. Jika *user* menekan tombol *circle* maka sensor secara otomatis memindai keseluruhan benda uji dengan bentuk lingkaran sedangkan jika *user* memilih *square* maka sensor memindai dengan bentuk persegi.

Gambar 4.36 *Form* Masukan Dimensi Benda Uji

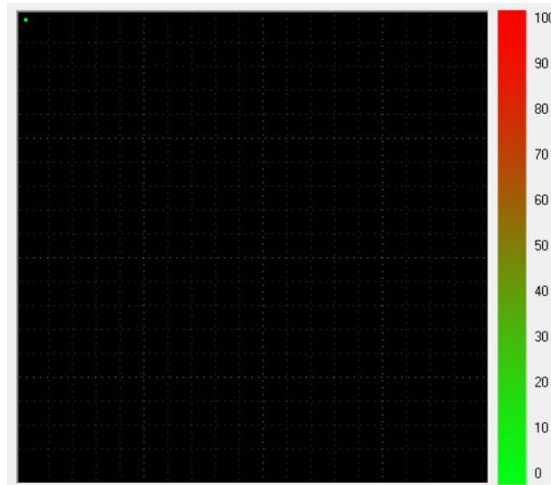
Setelah bentuk *geometry* dipilih maka *user* diminta untuk mengisi besar dari benda uji yang dipindai secara otomatis dengan satuan milimeter seperti pada Gambar 4.36. Kemudian *user* akan melihat tampilan seperti pada Gambar 4.37.

Gambar 4.37 *Form* Masukan Jarak *Step*

Setelah itu *user* diminta untuk memberikan jarak *step* setiap pembacaan sensor dalam satuan milimeter. Jika *user* mengisi *form* pada Gambar 4.37 dengan angka 10 maka nantinya sensor baru dapat membaca nilai *gain* dan menampilkan hasilnya pada *contour plot* setiap 10 mm. Dan jika *user* menekan tombol *submit*, sensor secara otomatis memindai keseluruhan benda uji sesuai dengan parameter yang telah dimasukan pada *form* masukan.

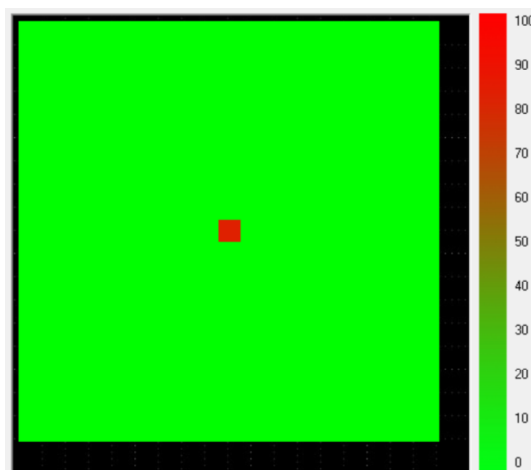
#### 4.3.3. Pembuatan *Contour Plot* Benda Uji

Agar *user* lebih mudah dalam melihat benda yang diuji apakah terdapat *crack* ataupun tidak serta posisi dari *crack* tersebut maka diperlukan sebuah alat bantu yang menampilkan hasil *scan* dari sistem ini. Pada kesempatan kali ini digunakan *contour plot* untuk menggambarkan hasil pengujian seperti pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38 *Contour Plot* Hasil Pengujian

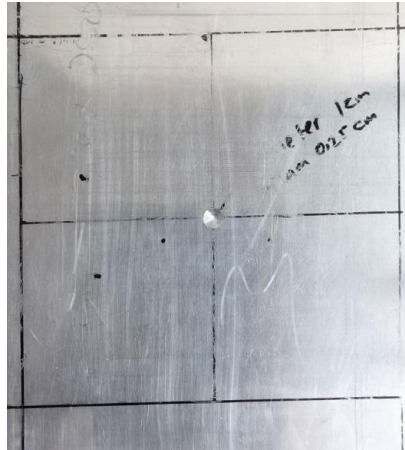
Dapat dilihat pada Gambar 4.38 terdapat sebuah skala *color bar* dari 0 sampai 100 yang dimana skala ini merupakan representasi dari tingkat kerusakan pada benda uji. Semakin besar nilai skalanya maka semakin tinggi tingkat kerusakan yang terjadi pada benda uji. Kemudian pada *contour plot* dapat memberikan warna yang semakin merah untuk kasus benda uji yang semakin rusak. Pada *contour plot* tersebut juga terdapat garis bantu yang dimana setiap kotak kecil mewakili luas daerah sebesar 1 cm<sup>2</sup> pada benda uji. Kemudian untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.39.



Gambar 4.39 *Contour Plot* Dari Hasil Pengujian Benda Uji 18 cm × 18 cm

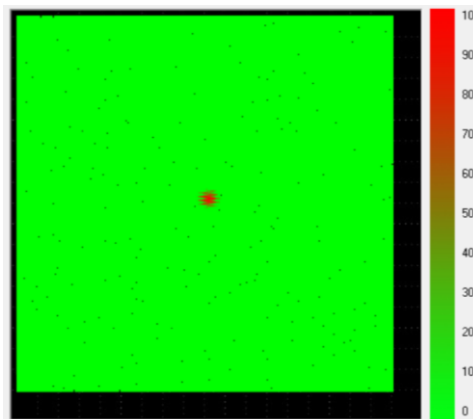
Dapat dilihat pada Gambar 4.39 bahwa panjang dari hasil pengujian memakan kotak kecil sebanyak 18 buah yang berarti panjang dari benda uji yaitu 18 cm begitupula dengan lebar benda ujinya. Bisa dilihat juga pada Gambar 4.39

bahwa terdapat satu titik berwarna merah dibagian tengah, hal itu menandakan bahwa pada bagian tengah benda uji terdapat 1 buah *crack* yang dimana *crack* pada benda uji ini berupa lubang dengan diameter 1 cm.



Gambar 4.40 Benda Uji dengan Satu Lubang di Tengah

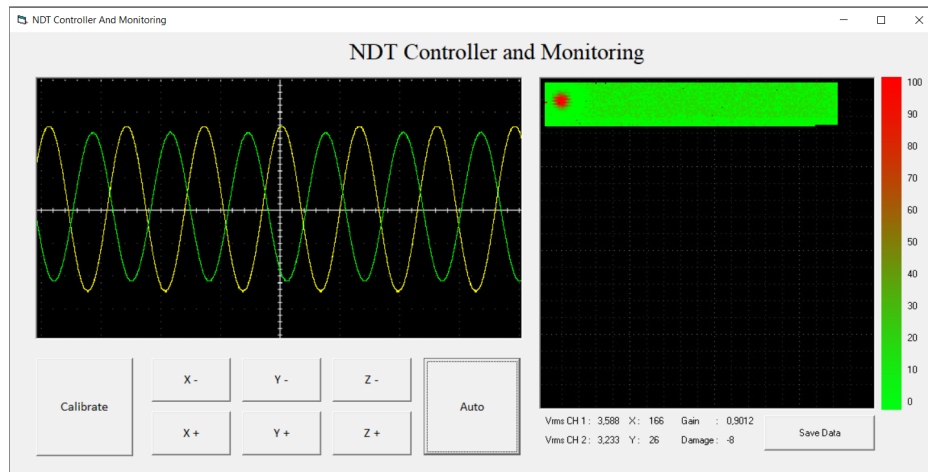
Sesuai dengan Gambar 4.40 bahwa pada benda uji terdapat satu *crack* berdiameter 1 cm sesuai dengan yang ditunjukkan dari hasil *contour plot* pada Gambar 4.39 dimana pada gambar tersebut terdapat 1 kotak berwarna merah. Pada Gambar 4.39 digunakan milimeter *per step* sebesar 10 mm yang berarti 1 kotak pada *contour plot* mewakili daerah uji sebesar 1 cm. Jika dilihat secara seksama pada benda uji terdapat *crack* berbentuk lingkaran sedangkan pada *contour plot* berbentuk persegi yang hal ini disebabkan karena milimeter *per step* yang terlalu besar sehingga *pixel* pada *contour plot* ikut membesar. Untuk melihatnya lebih detail dan akurat dapat menurunkan nilai milimeter *per step*, seperti contoh Gambar 4.41 berikut ini adalah hasil pengujian dengan milimeter *per step* 1 mm.



Gambar 4.41 Hasil Pengujian dengan Milimeter *Per Step* 1 mm



Dapat dilihat pada Gambar 4.41 bentuk dari *crack* sudah tidak lagi persegi melainkan berbentuk lingkaran. Hal ini disebabkan karena *pixel* dari *contour plot* ini mengecil sehingga hasil dari *contour plot* bisa lebih mendekati dari hasil pengujian sebenarnya. Selain itu *user* dapat melihat hasil pengujian ini secara *real time* pada aplikasi ini seperti pada Gambar 4.42 berikut.



Gambar 4.42 Proses *Scan* Benda Uji

Dapat dilihat pada Gambar 4.42 proses *scan* benda uji dapat dipantau secara *real time*. Uji keandalan dilakukan untuk melihat apakah sistem dapat digunakan untuk menguji beberapa benda uji dengan posisi *crack* yang berbeda dan hasilnya sistem yang dibuat sudah berhasil mendeteksi *crack* tersebut pada posisi yang tepat sehingga sistem yang dibuat ini sudah berhasil. Hasil pengujianya dapat dilihat pada Lampiran B. Dengan menggunakan Persamaan (2.4) didapat hasil peningkatan nilai koefisien korelasi ketika menggunakan sistem otomatis yaitu pada benda uji lubang di tengah menjadi 0,76 yang sebelumnya jika pengujian dilakukan manual mendapatkan nilai koefisien korelasi 0,67. Sedangkan untuk benda uji lubang di pinggir meningkat dari 0,57 menjadi 0,65 jika menggunakan sistem otomatis. Sehingga dapat dikatakan sistem berhasil membuat hasil pengujian menjadi lebih akurat. Data pengujian koefisien korelasi dapat dilihat pada tautan yang tersedia pada Lampiran A.