



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS KETEBALAN *WELD OVERLAY CLADDING* PADA
DINDING TANGKI *CHEMICAL TANKER* MEMAKAI METODE
*EDDY CURRENT TEST (ECT)***

Kevin Iusela
NRP 0411154000091

Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS KETEBALAN *WELD OVERLAY CLADDING*
PADA DINDING TANGKI *CHEMICAL TANKER* MEMAKAI
METODE *EDDY CURRENT TEST (ECT)***

**Kevin Iusela
NRP 0411154000091**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.
Dony Setyawan, S.T.,M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT - MN 184802

**ANALYSIS OF WELD OVERLAY CLADDING THICKNESS IN
CHEMICAL TANKER TANK USING EDDY CURRENT TEST
(ECT) METHOD**

**Kevin Iusela
NRP 0411154000091**

**Supervisor
Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KETEBALAN *WELD OVERLAY CLADDING* PADA
DINDING TANGKI *CHEMICAL TANKER* MEMAKAI
METODE *EDDY CURRENT TEST (ECT)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

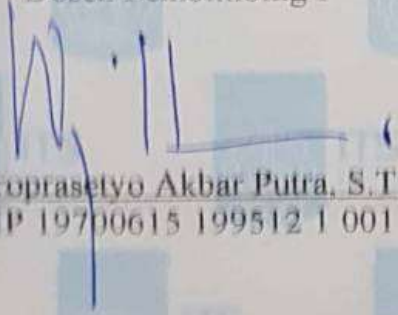
KEVIN IUSELA

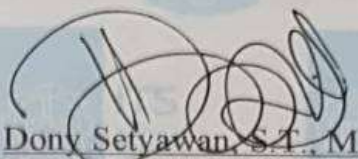
NRP 04111540000091

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
NIP 19790615 199512 1 001


Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
NIP 19750320 199903 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan



I. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

LEMBAR REVISI

ANALISIS KETEBALAN *WELD OVERLAY CLADDING* PADA DINDING TANGKI *CHEMICAL TANKER* MEMAKAI METODE *EDDY CURRENT TEST (ECT)*

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 9 Januari 2020
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

KEVIN IUSELA

NRP 0411154000091

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Danu Utama, S.T., M.T.
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.
3. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
4. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendropasetyo A.P., S.T., M.Eng.
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.

The image shows four handwritten signatures in blue ink, each positioned above a horizontal dotted line. The signatures are: 1. Danu Utama, 2. Totok Yulianto, 3. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, and 4. Muhammad Nurul Misbach. Below these are two more handwritten signatures in blue ink, each above a horizontal dotted line, representing the supervisors: 1. Wing Hendropasetyo A.P. and 2. Dony Setyawan.

SURABAYA, 17 JANUARI 2020

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik..

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak sekali membantu selama penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. dan Bapak Dony Setyawan, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium.
4. Seluruh dosen di Departemen Teknik Perkapalan atas ilmu-ilmu yang telah diberikan selama kuliah.
5. Pak Pardi, Pak Deny, Pak Yanto, Mas Joko, Pak Fayril, dan pak aminudin yang selalu siap membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Keluarga di rumah terutama untuk orang tua saya: Ir. Antonius Ginting dan Ir. Deliana Tarigan, selaku orang tua penulis yang tiada hentinya memberikan dukungan moral dan materi kepada penulis.
7. Nofariza Aulia Jeremi atas segala bantuan dan semangat yang diberikan.
8. Keluarga “P55 SAMUDRARAKSA” atas bantuan dan dukungan yang selalu dihadirkan selama bangku kuliah.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan untuk penyusunan laporan selanjutnya. Semoga laporan ini memberikan ilmu pengetahuan dan manfaat kedepannya. Terima kasih.

Surabaya, 9 Januari 2020

Kevin Iusela

ANALISIS KETEBALAN *WELD OVERLAY CLADDING* PADA DINDING TANGKI *CHEMICAL TANKER* MEMAKAI METODE *EDDY CURRENT TEST (ECT)*

Nama Mahasiswa : Kevin Iusela
NRP : 0411154000091
Departemen/Fakultas : Teknik Perkapalan/Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Dalam bidang industri perkapalan, baja karbon merupakan paduan material yang seringkali dijadikan bahan utama pelat kapal. Karena memiliki *resistance* terhadap korosi yang cukup rendah, diperlukan material yang tahan akan korosi seperti *stainless steel* untuk melapisi baja karbon terutama pada pelat tangki ruang muat kapal *tanker* yang memuat cairan yang bersifat korosif. Tetapi, ketebalan aktual dari lapisan *stainless steel* serta dimensi, permeabilitas dan konduktivitasnya tidak dapat diketahui. Maka dari itu, diperlukan *Non Destructive Testing (NDT)* untuk mengetahui ketebalan aktual dari lapisan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketebalan aktual dari lapisan *cladding* dari material *cladding stainless steel SS309* pada baja karbon A36 berukuran 225 x 100 x 18 mm yang digunakan sebagai blok kalibrasi dan baja karbon A36 berukuran 100 x 50 x 18 mm sebagai spesimen uji dengan metode *Eddy Current Testing (ECT)*. Frekuensi *probe* yang digunakan pada penelitian ini adalah 15 kHz, 30 kHz, 50 kHz dan 500 kHz. Metode pengelasan *cladding* menggunakan metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding*. Elektroda yang digunakan yaitu *stainless steel SS309*. Ketebalan *cladding* dibuat dengan ketebalan yang berbeda-beda.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan *cladding stainless steel* maka akurasi pembacaan yang dihasilkan melalui alat *Eddy Current Testing (ECT)* semakin baik. Dari grafik hasil pengujian yang membandingkan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji menunjukkan bahwa *probe* dengan frekuensi 500 kHz merupakan *probe* yang mempunyai akurasi pembacaan yang lebih baik dibandingkan dengan *probe* dengan frekuensi lainnya. Hal tersebut dapat dibuktikan setelah membandingkan hasil pengujian dari keduanya pada frekuensi 500 kHz yang menunjukkan persentase perbedaan yang paling kecil yaitu dengan rata-rata sebesar 2%. Hasil pembacaan yang paling optimum ditemukan pada blok 4 yaitu pada rata-rata ketebalan 7,41 mm.

Kata Kunci: *Stainless Steel, Cladding, Ketebalan aktual, Eddy Current Testing*

ANALYSIS OF WELD OVERLAY CLADDING THICKNESS IN CHEMICAL TANKER TANK USING EDDY TEST (ECT) METHOD

Author : Kevin Iusela
Student Number : 0411154000091
Department/Faculty : Teknik Perkapalan/Teknologi Kelautan
Supervisor : 1. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

In the shipping industry, carbon steel is an alloy material that is often used as the main material for ship plates. Because it has a fairly low corrosion resistance, corrosion resistant materials such as stainless steel are needed to coat carbon steel, especially on tank tanker plates containing corrosive liquids. However, the actual thickness of the stainless steel coating and its dimensions, permeability and conductivity cannot be known. Therefore, Non Destructive Testing (NDT) is needed to determine the actual thickness of the layer.

This study aims to determine the actual thickness of the cladding layer of SS309 stainless steel cladding material on A36 carbon steel measuring 225 x 100 x 18 mm which is used as a calibration block and A36 carbon steel measuring 100 x 50 x 18 mm as a test specimen with the Eddy Current method Testing (ECT). The frequency of the probes used in this study were 15 kHz, 30 kHz, 50 kHz and 500 kHz. Cladding welding method uses the Shielded Metal Arc Welding method. The electrodes used are SS309 stainless steel. Cladding thickness is made with different thicknesses.

The results of this study indicate that the thicker the stainless steel cladding layer, the accuracy of the readings produced through the Eddy Current Testing (ECT) tool the better. From the test results graph comparing the test results from the calibration block and test specimens show that the probe with a frequency of 500 kHz is a probe that has a better reading accuracy compared to probes with other frequencies. This can be proven after comparing the test results of the two at a frequency of 500 kHz which shows the smallest percentage difference with an average of 2%. The most optimum reading results are found in block 4 at an average thickness of 7.41 mm.

Keywords: *Stainless Steel, Cladding, Actual Thickness, Eddy Current Testing*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR REVISI.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERUNTUKAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	1
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Hipotesis	2
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	3
2.1 Dasar Teori	3
2.1.1 <i>Cladding</i> dan <i>Overlay</i>	3
2.1.2 <i>Stainless Steel</i>	3
2.1.3 <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	4
2.1.4 Pengujian <i>Eddy Current</i>	5
2.1.5 Prinsip Pengujian <i>Eddy Current</i>	6
2.1.6 Aplikasi Pengujian <i>Eddy Current</i>	8
2.1.7 Kelebihan dan Kekurangan Pengujian <i>Eddy Current Testing</i>	8
2.1.8 Efek Kulit	9
2.1.9 Standar Kedalaman Penembusan.....	9
2.1.10 <i>Electrical Conductivity</i>	12
2.1.11 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Konduktivitas	13
2.1.12 Kumpulan Pemeriksaan <i>Eddy Current</i>	14
2.2 Tinjauan Pustaka.....	17
2.2.1 Pengaruh variasi frekuensi terhadap kemampuan kedalaman penembusan sinyal (<i>Depth of Penetration</i>).....	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Persiapan Penelitian	21
3.2 Persiapan Material dan Alat.....	22
3.3 Pembuatan Spesimen Uji	26
3.4 Pengukuran Ulang Ketebalan Blok Kalibrasi dan Spesimen Uji	32
3.5 Pengujian <i>Eddy Current</i>	33
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Pendahuluan.....	35
4.2 Hasil pengujian pada spesimen uji.....	44

4.3	Perbandingan <i>Degree Peak to Peak</i> dan ketebalan yang didapat pada spesimen uji dengan blok kalibrasi.....	48
4.4	Pembahasan	53
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	58
	DAFTAR PUSTAKA.....	59
	LAMPIRAN	
	LAMPIRAN A Hasil Pengujian Blok Kalibrasi	
	LAMPIRAN B Hasil Pengujian Spesimen Uji	
	BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses pengelasan SMAW.....	4
Gambar 2.2 Butiran logam cair yang terbawa.....	5
Gambar 2.3 Alat Eddy Current Testing.....	6
Gambar 2.4 Dua jenis kumparan yang umum digunakan dan pola arus eddy-nya.	7
Gambar 2.5 Variasi dalam kerapatan arus eddy sebagai fungsi dibawah permukaan konduktor	10
Gambar 2.6 Hubungan antara kedalaman penetrasi standar dengan frekuensi terhadap berbagai jenis material.....	11
Gambar 2.7 Probe coils	14
Gambar 2.8 Probe coils	15
Gambar 2.9 Encircling coils	15
Gambar 2.10 Bobbin coils.....	16
Gambar 2.11 Konfigurasi Pengujian Kumparan Untuk Pengujian Arus Eddy Dari Tabung Berdiameter Kecil.....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	22
Gambar 3.2 Dimensi blok kalibrasi	22
Gambar 3.3 Blok kalibrasi.....	23
Gambar 3.4 Dimensi spesimen uji.....	23
Gambar 3.5 Spesimen uji	23
Gambar 3.6 Probe pengujian frekuensi 30 kHz.....	25
Gambar 3.7 Probe pengujian frekuensi 50 kHz.....	25
Gambar 3.8 Probe pengujian frekuensi 500 kHz.....	26
Gambar 3.9 Eddy Current Test Device	26
Gambar 3.10 Proses Pengelasan.....	27
Gambar 3.11 Material setelah mengalami proses pengelasan	27
Gambar 3.12 Proses cutting material.....	28
Gambar 3.13 Proses meluruskan material dengan mesin bending	28
Gambar 3.14 Blok kalibrasi setelah melalui proses machining.....	30
Gambar 3.15 Spesimen uji setelah melalui proses machining	30
Gambar 3.16 DC Power Supply	31
Gambar 3.17 Oxalic Acid.....	31
Gambar 3.18 Proses etching	32
Gambar 3.19 Pengukuran ketebalan cladding secara manual	32
Gambar 4.1 Titik pengujian pada blok kalibrasi	35
Gambar 4.2 Salah satu hasil scan blok kalibrasi pada frek.15 kHz.....	36
Gambar 4.3 Grafik linear dari pengujian blok kalibrasi pada frek.15 kHz	37
Gambar 4.4 Salah satu hasil scan blok kalibrasi pada frek.30 kHz.....	38
Gambar 4.5 Grafik linear dari pengujian blok kalibrasi pada frek.30 kHz	39
Gambar 4.6 Salah satu hasil scan blok kalibrasi pada frek.50 kHz.....	40
Gambar 4.7 Grafik linear dari pengujian blok kalibrasi pada frek.50 kHz	41
Gambar 4.8 Salah satu hasil scanning blok kalibrasi pada frek.500 kHz.....	42
Gambar 4.9 Grafik linear dari pengujian blok kalibrasi pada frek.50 kHz	43
Gambar 4.10 Titik pengujian pada spesimen uji	44
Gambar 4.11 Salah satu hasil scan spesimen uji pada probe frek.15 kHz	45

Gambar 4.12 Salah satu hasil scan spesimen uji pada probe frek.30 kHz	46
Gambar 4.13 Salah satu hasil scan spesimen uji pada probe frek.50 kHz	47
Gambar 4.14 Salah satu hasil scan spesimen uji dengan probe frek.500kHz	48
Gambar 4.15 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frek.15 kHz	49
Gambar 4.16 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frek.30 kHz	50
Gambar 4.17 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frek.50 kHz	51
Gambar 4.18 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frek.500 kHz	52
Gambar 4.19 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dan spesimen uji pada frek.15 kHz	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel konduktivitas (% IACS)	13
Tabel 2.2 Hasil perhitungan SDP (Standard Depth of Penetration)	18
Tabel 2.3 Hasil perhitungan EDP (Effective Depth of Penetration)	18
Tabel 2.4 Dimensi kedalaman retak dan tinggi sinyal indikasi pada blok kalibrasi	19
Tabel 3.1 Dimensi Blok Kalibrasi	29
Tabel 3.2 Dimensi spesimen uji	29
Tabel 3.3 Ketebalan cladding blok kalibrasi	33
Tabel 3.4 Ketebalan cladding spesimen uji	33
Tabel 4.1 Hasil pengujian blok kalibrasi pada frek. 15 kHz (Deg.)	37
Tabel 4.2 Hasil pengujian blok kalibrasi pada frek. 30 kHz (Deg.)	39
Tabel 4.3 Hasil pengujian blok kalibrasi pada frek. 50 kHz (Deg.)	41
Tabel 4.4 Hasil pengujian blok kalibrasi pada frek. 500 kHz (Deg.)	43
Tabel 4.5 Rekapitulasi hasil pengujian spesimen uji dengan probe fr.15 kHz.....	45
Tabel 4.6 Rekapitulasi hasil pengujian spesimen uji dengan probe fr.30 kHz.....	46
Tabel 4.7 Rekapitulasi hasil pengujian spesimen uji dengan probe fr.50 kHz.....	47
Tabel 4.8 Rekapitulasi hasil pengujian spesimen uji dengan probe fr.500 kHz.....	48
Tabel 4.9 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 15 kHz	50
Tabel 4.10 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 30 kHz	51
Tabel 4.11 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 50 kHz	52
Tabel 4.12 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 500 kHz	53
Tabel 4.13 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 500 kHz	55

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelat kapal merupakan pelat yang berbeda dengan pelat pada umumnya. Kelebihan pelat kapal tentunya terkandung unsur lain selain baja sebagai unsur utama. Unsur campuran pada pelat kapal berpengaruh terhadap laju korosi yang terjadi pada kapal nantinya. Unsur-unsur campuran tersebut tentunya harus menambah kualitas dari pelat tersebut.

Baja karbon merupakan paduan antara besi dan karbon dimana paduan material ini seringkali dijadikan bahan utama pelat kapal. Namun, baja karbon sendiri memiliki resistance terhadap korosi yang cukup rendah dan tidak dapat digunakan begitu saja ketika baja karbon digunakan untuk plat tangki ruang muat kapal tanker yang memuat cairan yang bersifat korosif. Maka dari itu diperlukan metode *weld overlay* untuk melapisi baja karbon tersebut dengan *stainless steel* yang diketahui mempunyai nilai *resistance* terhadap korosi sangatlah tinggi. Akan tetapi, ketebalan aktual dari lapisan *cladding stainless steel* tersebut tidak dapat diketahui. Maka dari itu diperlukan metode *Non Destructive Testing* (NDT) untuk mengetahui ketebalan aktual dari lapisan tersebut, berdasarkan permasalahan yang ada maka dilakukan analisis ketebalan *weld overlay cladding* pada dinding tangki *chemical tanker* dengan memakai metode *Eddy Current Testing* (ECT).

1.2 Perumusan Masalah

Berapa besar ketebalan aktual dari *cladding stainless steel* pada baja karbon A36 yang didapat dari pengujian *eddy current* setelah mengkalibrasikan spesimen uji dengan blok kalibrasi?

1.3 Tujuan

Untuk mengetahui ketebalan aktual dari lapisan *cladding* serta dimensi, permeabilitas, dan konduktivitas dari material *cladding stainless steel* pada baja karbon A36 dengan metode *Eddy Current Testing* (ECT).

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

- Material yang digunakan sebagai blok kalibrasi adalah baja karbon A36 dengan ukuran 225 mm x 50 mm x 18 mm yang di-*cladding* dengan material SS 309.
- Material yang digunakan sebagai *test piece* adalah baja karbon A36 dengan ukuran 100 mm x 50 mm x 18 mm sebanyak 5 *test piece* yang di-*cladding* dengan material SS 309.
- Metode pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) kemudian disekrap.
- Membuat blok kalibrasi dengan panjang 15 mm dan ketebalan yang berbeda-beda tiap panjang (*range* ketebalan 0.5 mm sampai ketebalan 7.5 mm)
- Metode pengujian menggunakan *eddy current testing* (ECT), *probe* permukaan.
- Frekuensi *probe* permukaan yang digunakan yaitu 15 KHz, 30 KHz, 50 KHz, dan 500 KHz.

1.5 Manfaat

Dari tugas akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut.

Secara praktek, diharapkan hasil dari tugas akhir ini dapat berguna sebagai referensi dalam mengetahui ketebalan aktual dari lapisan *cladding* dengan membandingkannya dengan blok kalibrasi menggunakan metode *Eddy Current Testing* (ECT).

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah frekuensi yang lebih kecil akan menghasilkan tingkat kedalaman penembusan lebih tinggi daripada menggunakan frekuensi yang lebih besar dan berlaku sebaliknya.

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1 Dasar Teori

Dasar teori menjelaskan tentang pengertian dan acuan yang akan digunakan pada tugas akhir ini. Dasar teori yang akan digunakan pada tugas akhir ini meliputi prinsip pengujian *eddy current*, aplikasi pengujian *eddy current*, kelebihan dan kekurangan pengujian *eddy current*, faktor-faktor penting yang harus diperhatikan dalam pengujian *eddy current*, dan jenis-jenis kumparan (*probe*) pada *eddy current*.

2.1.1 Cladding dan Overlay

Overlay adalah melapisi (*surfacing*) suatu logam dasar (*base metal*) dengan logam lain yang tidak sejenis untuk meningkatkan karakteristik logam dasar tersebut. Sedangkan *cladding* lebih pada kondisi sebuah logam tipis yang direkatkan (*bonded*) pada logam yang lebih tebal, dan dengan tujuan yang sama dengan *overlaying* (Lancaster, 1999).

Overlaying pada baja kurang lebih mirip dengan *hardfacing*, yang membedakan hanya ketika *overlaying*, digunakan *filler metal* yang didepositkan pada logam dasar dengan *welding*, *brazing*, atau *spraying* tidak memerlukan kandungan komposisi yang memiliki tingkat kekerasan tinggi. Kondisi di lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar jenis *filler* yang didepositkan pada baja karbon dan baja paduan rendah adalah *stainless steel*. Tujuannya adalah untuk meningkatkan ketahanan korosi pada permukaan baja karbon yang mudah berkorosi akibat kondisi lapangan (dalam hal ini pada kapal). Tujuan *overlaying* pada dasarnya tidak hanya untuk ketahanan korosi, misalnya untuk mengurangi atau menambahkan kekuatan logam terhadap beban yang diterimanya (Lancaster, 1999).

2.1.2 Stainless Steel

Stainless Steel atau baja nirkarat merupakan material yang mengandung senyawa besi dan mengandung sedikitnya 11% Kromium (Cr) untuk mencegah proses korosi (pengaratan logam). Kromium dengan kandungan mencapai 30% dan ditambahkan unsur paduan yang lain untuk mendapatkan sifat khusus atau meningkatkan daya tahan terhadap korosi. Unsur paduan lainnya terdiri dari: (Zamil, 1998)

- Nikel (Ni) dan Molibdenum (Mo) yang mempunyai fungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

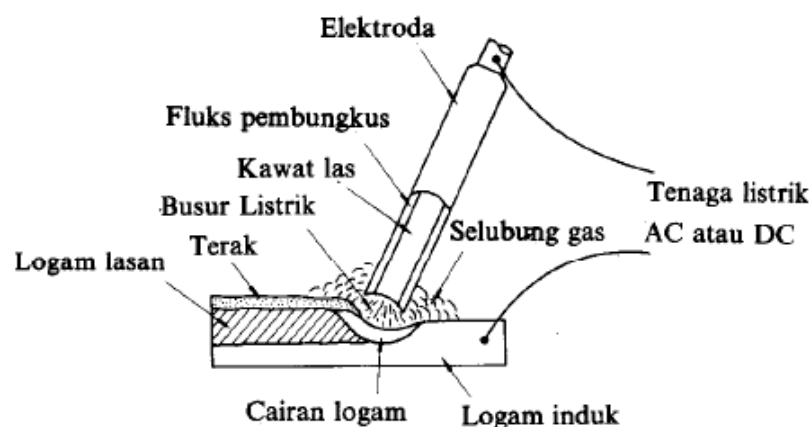
- Karbon – Molibdenum (C-Mo), Titanium (Ti), Aluminium (Al) dan Tembaga (Cu) mempunyai fungsi sebagai penambah kekuatan.
- Sulfur (S) dan Selenium (Se) mempunyai kemampuan *machining* yang baik.
- *Grade “L”* artinya kandungan *Carbon* (C) maksimum 0,03% C, sedang tanpa tanda “L” kandungan *Carbonnya* (C) maksimum 0,08% C.

Jika kasus-kasus diatas terjadi pada saat pengelasan pada material *stainless steel* maka besar kemungkinan korosi pada material *stainless steel* yang akan di las cukup besar. Perubahan struktur mikro karena pengelasan dapat terjadi karena: (Zamil, 1998)

- Terbentuknya endapan karbida
- Terbentuknya *delta ferrite*
- Pemanasan & pendinginan karena pengelasan temperature sensitasi (426°-871°C).
- Terbentuknya *sigma phase*.
- Prosedur pengelasan yang tidak terkendali.

2.1.3 *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

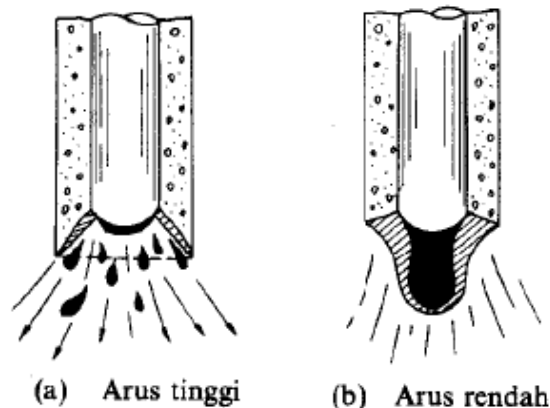
Shielded Metal Arc Welding (SMAW) atau las elektroda terbungkus merupakan cara pengelasan las yang umum digunakan saat ini. Cara pengelasan ini menggunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Busur listrik terbentuk di antara logam induk dan ujung elektroda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 Karena panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama (Wiryosumarto & Okumura, 2000).



Gambar 2.1 Proses pengelasan SMAW

Sumber: (Wiryosumarto & Okumura,2000)

Ketika ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik, disaat itulah proses pemindahan logam elektroda terjadi. Jika arus listrik yang digunakan besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan berlaku sebaliknya jika arus listrik yang digunakan kecil maka butiran logam cair yang terbawa menjadi besar. Butiran logam cair yang terbawa dari kedua arus listrik tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2 (a) dan Gambar 2.2(b) (Wiryosumarto & Okumura, 2000).



Gambar 2.2 Butiran logam cair yang terbawa

Sumber: (Wiryosumarto & Okumura,2000)

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam tersebut. Sifat mampu las akan tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Komposisi fluks yang digunakan pun mempengaruhi pola pemindahan logam cair juga. Bahan fluks yang menutupi elektroda ini akan mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

2.1.4 Pengujian *Eddy Current*

Eddy Current Inspection didasarkan pada prinsip induksi elektromagnetik dan digunakan untuk mengidentifikasi atau membedakan antara berbagai macam kondisi fisik, struktural dan metalurgi dalam logam *ferromagnetic* dan logam *non ferromagnetic* dan bagian-bagian dari logam. Salah satu contoh alat pengujian *eddy current* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Eddy Current Inspection dapat digunakan untuk:

- Mengukur atau mengidentifikasi kondisi dan sifat seperti konduktivitas listrik, permeabilitas, *grain size*, kondisi perlakuan panas, kekerasan dan dimensi.
- Mendeteksi *seams, laps, cracks, voids*, dan *inclusions*.

- Memilah-milah logam yang berbeda dan mendeteksi perbedaan dalam komposisi, struktur mikro, dan sifat-sifat lainnya.
- Mengukur ketebalan *non conductive coating* pada logam konduktif, atau ketebalan *non magnetic metal coating* pada logam *magnetic*.



Gambar 2.3 Alat Eddy Current Testing

Sumber: (www.google.com)

Karena *eddy current* menggunakan teknik induksi elektromagnetik, metode inspeksi tidak perlu menggunakan kontak secara langsung dengan bagian yang akan diinspeksi. Metode *eddy current* mudah beradaptasi dengan inspeksi yang menggunakan kecepatan tinggi dan, karena *eddy current* ini *nondestructive*, dapat digunakan untuk menginspeksi seluruh output produksi yang diinginkan. Metode ini berdasarkan pada pengukuran secara tidak langsung, dan korelasi antara instrumen pembaca dan karakteristik struktur dan *serviceability* pada bagian yang diinspeksi harus dilakukan secara hati-hati dan diulang berkali-kali (Nunes, 1989).

2.1.5 Prinsip Pengujian Eddy Current

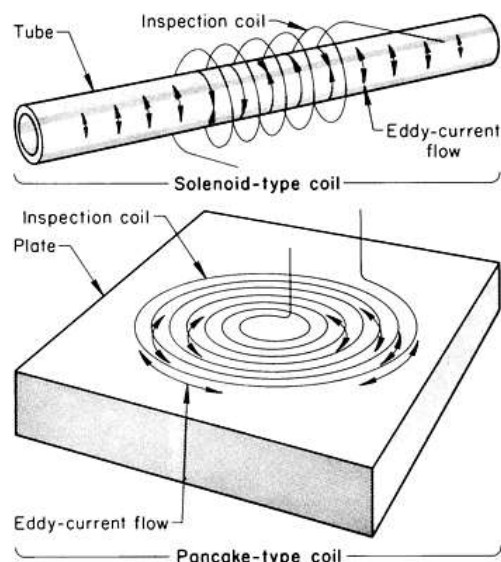
Metode pengujian *Eddy Current Inspection* tergantung pada prinsip induksi elektromagnetik untuk menginduksi *eddy current* dalam bagian yang ditempatkan di dalam atau berdekatan dengan satu atau lebih kumparan induksi. Proses *Heating* diakibatkan dari kehilangan daya listrik yang disebabkan oleh aliran arus *eddy* pada bagian logam tersebut. Perubahan pada *coupling* antara kumparan induksi dan bagian yang diperiksa dan perubahan karakteristik kelistrikannya menyebabkan terjadi variasi dalam pemuatan dan penyetelan dari generator (Nunes, 1989).

Sistem pemanas induksi dioperasikan pada tingkat kekuatan yang tinggi untuk menghasilkan tingkat pemanasan yang diinginkan. Sebaliknya, sistem yang digunakan di pengujian *Eddy Current* biasa dioperasikan pada daya yang sangat rendah untuk meminimalisir kehilangan pemanasan dan perubahan temperature dan juga di dalam sistem *Eddy Current*, perubahan muatan listrik dapat terjadi karena variasi-variasi pada bagian yang diperiksa, seperti yang disebabkan oleh adanya cacat atau perubahan dimensi, dimonitor oleh sirkuit elektronik (Nunes, 1989).

Dalam pengujian *Eddy Current*, pemilihan frekuensi probe sebagian besar diatur oleh *skin effect*. Efek ini menyebabkan arus *eddy* terkonsentrasi menuju permukaan yang berdekatan dengan kumparan yang membawa arus yang mendorong mereka (Nunes, 1989).

Bagian yang akan diperiksa ditempatkan di dalam atau berdekatan dengan kumparan listrik dimana sebuah arus bolak-balik mengalir. Seperti pada Gambar 2.4, arus bolak-balik ini menyebabkan arus *eddy* mengalir di bagian yang diperiksa sebagai akibat dari induksi elektromagnetik. Arus yang mengalir didalam *loop* yang tertutup di bagian tersebut, besaran dan waktu (atau fase) bergantung pada: (Nunes, 1989)

- Sifat kelistrikan dari bagian logam tersebut
- Medan elektromagnetik yang dibentuk oleh arus yang mengalir di dalam bagian logam tersebut
- Bidang asli atau primer yang dibentuk oleh arus bolak-balik.



Gambar 2.4 Dua jenis kumparan yang umum digunakan dan pola arus *eddy*-nya.

Sumber: (Nunes,1989)

Medan elektromagnetik di wilayah bagian logam dan di sekeliling bagian logam tergantung pada arus bolak-balik dari kumparan dan arus *eddy* yang mengalir di bagian logam tersebut. Aliran arus eddy pada bagian logam tergantung pada: (Nunes, 1989)

- Sifat kelistrikan dari bagian logam tersebut
- Total bidang elektromagnetik yang berada di dalam bagian logam tersebut.
- Ada atau tidaknya cacat atau diskontinuitas lainnya pada bagian logam tersebut

2.1.6 Aplikasi Pengujian Eddy Current

Penggunaan arus *eddy* secara umum dibagi menjadi aplikasi yang melibatkan pengukuran perbedaan sifat fisik, seperti cacat dan ketebalan, aplikasi yang melibatkan pengukuran parameter yang lebih mengarah pada konduktivitas, seperti kekerasan, atau aplikasi yang melibatkan perubahan permeabilitas pada bagian feromagnetik. Ini bukan subdivisi yang jelas karena parameter fisik juga mempengaruhi impedansi kumparan dan konduktivitas material. Perlakuan panas juga mempengaruhi konduktivitas di bagian nonferromagnetik dan permeabilitas di bagian feromagnetik. Aplikasi yang melibatkan parameter fisik pertama dan permeabilitas terakhir adalah: (Mix, 2005)

1. Mendeteksi dan menentukan tingkat keparahan berbagai retakan permukaan (tegangan, pengerasan, dll), jahitan las, *laps*, lubang, keropeng, porositas, rongga, inklusi, dan perak
2. Mengukur diskontinuitas pada material yang berkomposisi grafit, aluminium dan titanium
3. Mendeteksi dan mengukur aliran pada suatu lubang
4. Mengukur ketebalan cat dan plat dan mengukur lapisan *non conductive coating* pada material konduktif
5. Mengukur ketebalan lapisan konduktif non magnetik dan mengukur perbedaan dimensi pada bagian yang kerjakan
6. Mendeteksi logam yang diinginkan atau yang tidak diinginkan dalam bahan non magnetik

2.1.7 Kelebihan dan Kekurangan Pengujian *Eddy Current Testing*

Kelebihan metode pengujian *eddy current*, diantaranya: (Mix, 2005)

- Biaya yang wajar;
- *Probe* uji tidak perlu menyentuh permukaan *test piece*;
- Sensitivitas yang baik terhadap diskontinuitas kecil pada atau dekat permukaan *test piece*;

- Kemampuan untuk ukuran diskontinuitas lebih kuantitatif;
- Peralatan mudah dibawa/portabel; dan
- Tidak perlu persiapan peralatan yang rumit.

Metode *Eddy Current Testing* ini juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya: (Mix, 2005)

- Hanya dapat diaplikasikan pada material yang bersifat menghantarkan arus listrik;
- Permukaan material harus mudah diakses dengan *probe*;
- *Skill* dan latihan dibutuhkan lebih mendalam dibandingkan teknik atau metode lainnya;
- Ujung permukaan dan kekersan permukaan material dapat mempengaruhi hasil;
- Kedalaman dan penembusan medan magnet terbatas, akibatnya pengujian terbatas pada kerusakan di permukaan saja; dan
- Retak berupa delaminasi yang sejajar dengan arah lilitan atau gulungan *probe* dan arah pembacaan dari *probe* dapat tidak terdeteksi.

2.1.8 Efek Kulit

Ketebalan dan bentuk dari spesimen akan mempengaruhi respon dari arus *eddy*. Arus *eddy* tidak terdistribusi secara merata sepanjang spesimen uji yang diperiksa melainkan arus akan paling padat di permukaan tepat dibawah koil dan menjadi semakin tidak padat dengan meningkatnya jarak dibawah permukaan. Fenomena ini dikenal sebagai efek kulit (Nunes, 1989).

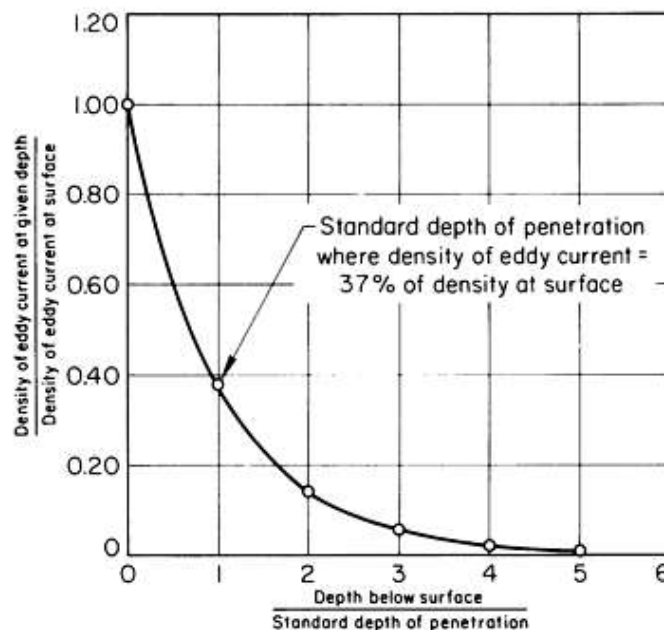
Efek kulit merupakan hasil dari interaksi mutual dari arus *eddy*, frekuensi yang dioperasikan, konduktivitas dan permeabilitas dari objek pengujian. Efek kulit dimana arus *eddy* terkonsentrasi di objek pengujian yang dekat dengan *test coil*, menjadi lebih jelas ketika frekuensi pengujian, konduktivitas dan permeabilitas dari objek pengujian meningkat. Untuk kepadatan arus *eddy* atau distribusi arus *eddy* pada objek pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.5.

2.1.9 Standar Kedalaman Penembusan

Pendistribusian arus *eddy* pada spesimen uji bervariasi secara eksponensial. Kepadatan arus pada spesimen uji ditemukan paling padat di dekat kumparan(*probe*) uji. Maka arus *eddy* yang dihasilkan pada permukaan spesimen uji yang dekat dengan *coil* yaitu sebesar 100%. Kepadatan arus *eddy* mengikuti aturan matematika yaitu “*natural exponential decay curve (1/e)*” dimana *e (epsilon)* sebesar 2,718. Umumnya kurva aturan matematika tersebut

digambarkan seperti grafik dengan ordinat (*Y Axis*) merepresentasikan *magnitude* (besaran) dan absis (*X Axis*) merepresentasikan waktu atau jarak. Titik umum yang dijelaskan pada grafik tersebut adalah “*knee*” pada kurva. “*Knee*” pada kurva terjadi pada nilai 37% pada ordinat axis. Nilai 37% ini dipilih karena perubahan pada nilai *X Axis* menghasilkan perubahan yang signifikan pada nilai *Y Axis* dari 100% ke 37% dan dibawah 37% perubahannya pada nilai *X Axis* menghasilkan perubahan yang tidak signifikan pada nilai *Y Axis* (ASNT, 2007).

Titik pada ketebalan spesimen uji ketika arus *eddy* berkurang hingga 37% dari kekuatan sebelumnya dikenal sebagai standar kedalaman penembusan. Gambar 2.5 menunjukkan bagaimana arus *eddy* bervariasi sebagai fungsi kedalaman di bawah permukaan.

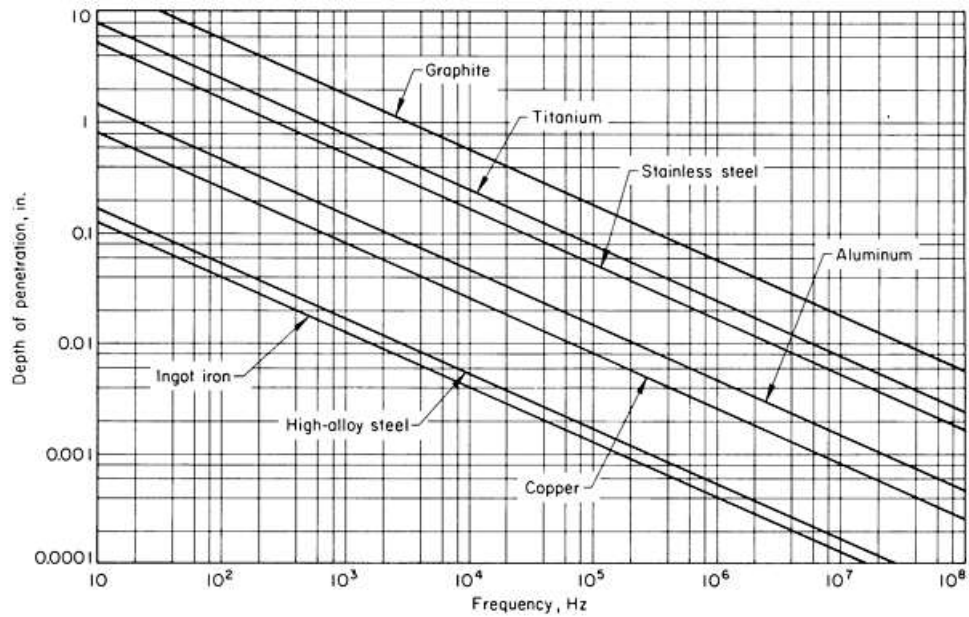


Gambar 2.5 Variasi dalam kerapatan arus *eddy* sebagai fungsi dibawah permukaan konduktor

Sumber: (Nunes,1989)

Standar kedalaman penembusan untuk beberapa material logam pada berbagai konduktivitas listrik dapat dilihat pada Gambar 2.6

Grafik tersebut memperlihatkan pengaruh dari konduktivitas dan permeabilitas terhadap kedalaman penembusan. Jika diperhatikan bahwa kedalaman penembusan tembaga lebih kecil daripada kedalaman penembusan aluminium pada sembarang frekuensi. Hal tersebut dikarenakan tembaga adalah penghantar listrik yang lebih baik ketimbang aluminium (Hagemaier, 2002).



Gambar 2.6 Hubungan antara kedalaman penembusan standar dengan frekuensi terhadap berbagai jenis material

Sumber: (Nunes,1989)

Arus *eddy* tidak terdistribusi secara merata pada material uji. Arus-arus *eddy* yang terbentuk cenderung rapat pada permukaan material uji yang paling dekat dengan kumparan (*probe*) dan menjadi semakin berkurang kerapatannya seiring dengan bertambahnya jarak di bawah permukaan dari material uji tersebut. Pada beberapa jarak di bawah permukaan pada suatu material yang tebal, tidak terdapat arus *eddy* yang mengalir. Kedalaman penembusan sangat dipengaruhi oleh frekuensi, konduktivitas, dan permeabilitas dari material yang diuji (Sadek, 2006).

Rumus kedalaman penembusan menggunakan hambatan, frekuensi, dan permeabilitas dinyatakan pada Persamaan 2.1: (ASNT, 2007)

$$\delta = K \sqrt{\frac{\rho}{f \mu_{rel}}} \quad (2.1)$$

Dimana,

- δ = Kedalaman penembusan standar (mm)
- K = 50 (untuk milimeter) atau 1.98 (untuk inci)
- ρ = Resistivitas (dalam micro.ohm.centimeter)

$$f = \text{Frekuensi (Hz)}$$

$$\mu_{\text{rel}} = 1 \text{ (untuk } \textit{nonferromagnetic material})$$

2.1.10 *Electrical Conductivity*

Semua material yang karakteristiknya rendah untuk menahan listrik artinya memiliki sifat sebagai konduktor yang baik. Logam-logam yang ada sebagian besar memiliki sifat konduktor listrik yang baik dimana ini menarik minat inspeksi arus *eddy* saat ini. Konduktivitas relatif dari logam dan berbagai paduan (*alloys*) bervariasi pada cakupan yang luas (Nunes, 1989).

Kapasitas logam dalam mengalirkan arus listrik dapat diukur dari konduktivitas dan resistivitas logam tersebut. Standar untuk mengukur resistivitas dan konduktivitas dari logam menggunakan standar dari *International Annealed Copper Standard*. Peringkat resistivitas dan konduktivitas IACS dari beberapa logam dan paduan umum dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Nunes, 1989).

Konduktivitas dalam material dinyatakan dalam skala persen IACS. Resistivitas dalam material dinyatakan dalam *micro-ohm-centimeters*. Untuk mengkonversi nilai dalam satu skala ke dalam sistem unit lainnya dibutuhkan faktor konversi sebesar 172.41. Ketika diketahui nilai antara konduktivitas atau resistivitas maka *electrical property* lainnya dapat dihitung.

$$\%IACS = \frac{172.42}{\text{Resistivity (in } \textit{micro-ohm-cm})} \quad (2.2)$$

Atau

$$\text{Resistivity (in } \textit{micro-ohm-cm}) = \frac{172.41}{\%IACS} \quad (2.3)$$

Nilai antara konduktivitas atau resistivitas dapat dihitung melalui persamaan rumus 2.2 dan 2.3. Persamaan tersebut akan diperlukan ketika kalkulasi tambahan dibutuhkan untuk menentukan permasalahan dalam pemilihan frekuensi, kedalaman penembusan atau persebaran fase untuk menemukan kriteria inspeksi yang lebih spesifik.

Terdapat berbagai macam faktor yang perlu dipertimbangkan saat mengukur konduktivitas dari berbagai paduan baja seperti suhu yang bertambah, perlakuan panas yang sebelumnya telah dilakukan, tekanan dalam material dan kekerasan pada material. Faktor-faktor yang disebutkan sebelumnya dapat mengakibatkan pengurangan pada konduktivitas

dimana ini sangat berpengaruh ketika pengukuran konduktivitas yang dibutuhkan harus akurat (ASNT, 2007).

Tabel 2.1 Tabel konduktivitas (% IACS)

Sumber: (Nunes,1989)

Metal or alloy	Resistivity, $\mu\Omega \cdot \text{mm}$	Conductivity, % IACS
Silver	16.3	105
Copper, annealed	17.2	100
Gold	24.4	70
Aluminum	28.2	61
Aluminum alloys		
6061-T6	41	42
7075-T6	53	32
2024-T4	52	30
Magnesium	46	37
70-30 brass	62	28
Phosphor bronzes	160	11
Monel	482	3.6
Zirconium	500	3.4
Zircaloy-2	720	2.4
Titanium	548	3.1
Ti-6Al-4V alloy	1720	1.0
Type 304 stainless steel	700	2.5
Inconel 600	980	1.7
Hastelloy X	1150	1.5
Waspaloy	1230	1.4

2.1.11 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Konduktivitas

Banyak faktor yang mempengaruhi konduktivitas logam, terutama suhu, komposisi, perlakuan panas dan hasil struktur mikro, ukuran butir, *hardness*, dan *residual stresses*. Sebaliknya, arus *eddy* dapat digunakan untuk memantau komposisi dan berbagai karakteristik

metalurgi, asalkan pengaruhnya terhadap konduktivitas cukup untuk memberikan kontras yang diperlukan.

Banyak faktor-faktor lain yang dapat mengubah konduktivitas dari suatu material. Sementara konduktivitas bawaan material selalu sama, ada faktor-faktor internal lainnya yang dapat mengakibatkan perubahan konduktivitas bawaan. Faktor-faktor berikut ini dapat mengubah konduktivitas: (Nunes, 1989)

- Suhu material.
- *Alloy* (Paduan) dari material.
- Kekerasan material.
- Tegangan sisa di dalam material.
- Adanya lapisan *cladding* tipis yang terbuat dari material konduktif jenis lain.

2.1.12 Kumbaran Pemeriksaan *Eddy Current*

Kumbaran pemeriksaan pada *Eddy Current* dapat dikategorikan menjadi tiga jenis kumbaran, yaitu : *Probe Coils*, *Bobbin Coils*, dan *Encircling Coils*

- *Probe Coils*

Probe coils menyediakan metode pemeriksaan yang mudah pada permukaan suatu material yang akan diuji. Gambar 2.7 menunjukkan contoh satu set *probe coils* yang digunakan untuk melakukan pemeriksaan.

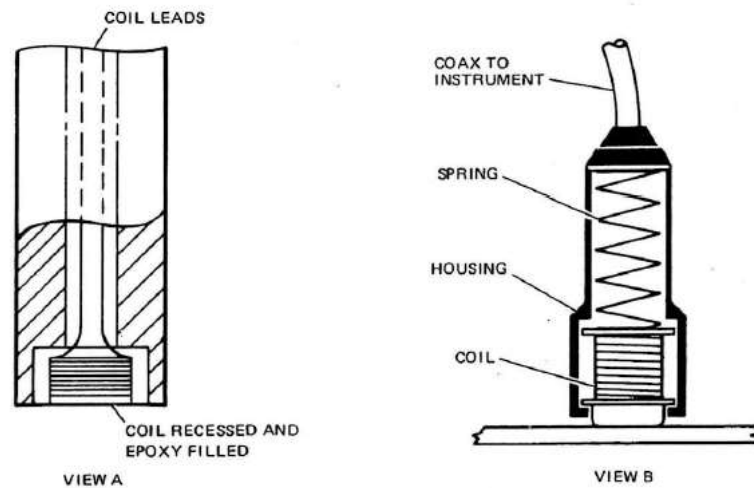


Gambar 2.7 *Probe coils*

Sumber: (Sadek,2006)

Probe coils dapat dibentuk agar sesuai dengan geometris tertentu untuk memecahkan masalah inspeksi yang kompleks. Sebagai contoh, *probe coils* yang dibuat dalam

bentuk pensil digunakan untuk memeriksa area berulir dari kancing dan mur pemasangan atau area bergerigi dari roda turbin dan rakitan bilah turbin. Saat menggunakan resolusi yang tinggi, pemeriksaan pada permukaan suatu material harus dilakukan secara hati-hati untuk memastikan cakupan pemeriksaan sudah lengkap. Gambar 2.8 merupakan komponen-komponen yang terdapat dalam *probe coils* (Sadek, 2006).

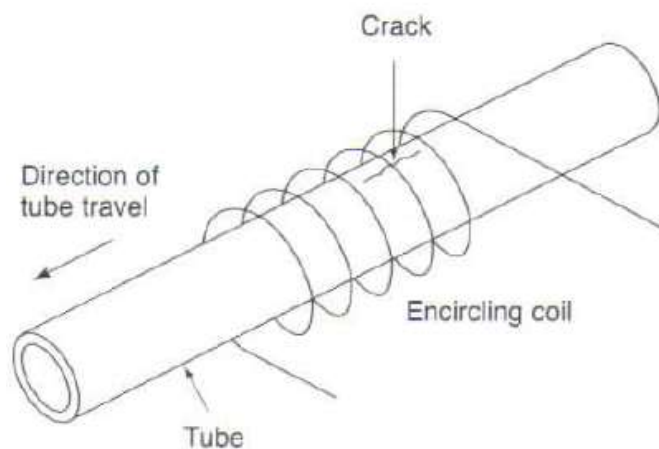


Gambar 2.8 Probe coils

Sumber : (Cox,1997)

- *Encircling Coils*

Encircling coils, outside diameter coils, dan feed thorough coils adalah istilah yang umum digunakan untuk menggambarkan kumparan yang mengelilingin benda uji seperti yang terlihat pada Gambar 2.9.



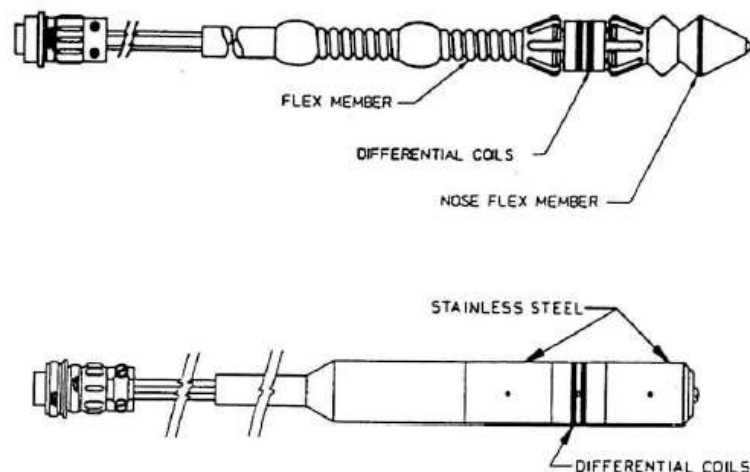
Gambar 2.9 Encircling coils

Sumber: (Sadek,2006)

Encircling coils terutama digunakan untuk memeriksa produk berbentuk tabung dan batang. Volume material yang diperiksa lebih besar menggunakan *Encircling coils* dari *Probe coils*. Oleh karena itu, sensitivitas dari *probe coils* relatif lebih rendah. Saat menggunakan *encircling coils*, sangat penting untuk memastikan bahwa material yang akan diuji berada di tengah-tengah kumparan. Jika material uji tidak berada di tengah-tengah kumparan, maka respon dari diskontinuitas akan sulit untuk diperoleh. Untuk memastikan pemusatan yang tepat, harus menjalankan standar kalibrasi beberapa kali, setiap kali mengindeks diskontinuitas buatan ke lokasi melingkar baru dalam kumparan. Dalam semua skema deteksi diskontinuitas, penting untuk memilih frekuensi yang sesuai, menyesuaikan parameter tampilan system dan memastikan bahwa tabung sudah dipusatkan pada kumparan setiap saat untuk mencapai sensitivitas uji yang optimal (Sadek, 2006).

- *Bobbin Coils*

Bobbin coil, *inside diameter coil* dan *inside probe* adalah sebutan yang sering digunakan untuk melakukan inspeksi dari diameter dalam atau lubang benda uji. *Bobbin coil* dimasukkan dan ditarik dari tabung dengan diameter dalam yang panjang dan semifleksibel atau hanya ditiup dengan udara dan diambil dengan kabel tarik yang terpasang. Gambar 2.10 merupakan komponen-komponen yang terdapat didalam *bobbin coils*.

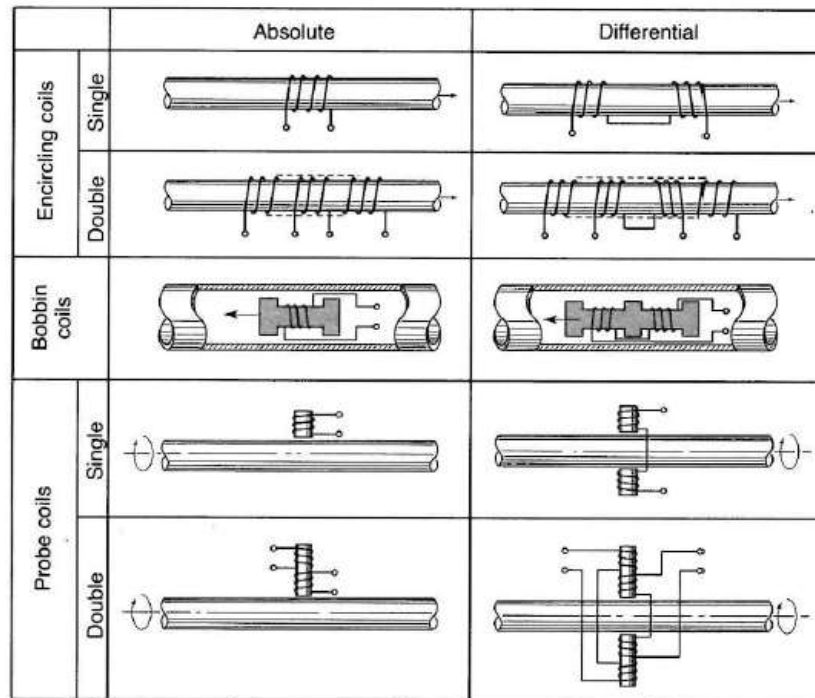


Gambar 2.10 Bobbin coils

Sumber: (Cox,1997)

Probe coils, *Encircling coils*, dan *Bobbin coils* dibagi menjadi beberapa klasifikasi. Klasifikasi tersebut ditentukan dengan cara bagaimana kumparan dan elektrik

terhubung. Klasifikasi tersebut dibagi menjadi tiga, yaitu : *absolute*, *differential*, dan *hybrid* (Sadek, 2006).



Gambar 2.11 Konfigurasi Pengujian Kumparan Untuk Pengujian Arus Eddy Dari Tabung Berdiameter Kecil

Sumber: (Cox, 1997)

2.2 Tinjauan Pustaka

2.2.1 Pengaruh variasi frekuensi terhadap kemampuan kedalaman penembusan sinyal (*Depth of Penetration*)

Pada pengujian yang dilakukan oleh (Navy, 2019), perubahan frekuensi akan berpengaruh terhadap standar kedalaman penembusan / *Standar Depth of Penetration* atau disingkat SDP. Salah satu parameter pengujian yang bisa dikendalikan oleh penguji yang dapat mempengaruhi kedalaman penembusan adalah frekuensi pengujian yang dialirkan kedalam kumparan. Akan terjadi perbedaan atau perubahan kemampuan penembusan standar sinyal jika frekuensi yang digunakan berubah. Berikut rumus kedalaman penembusan standar/SDP yang diambil dari ASNT *Handbook for electromagnetic testing* :

$$\delta = K \sqrt{\frac{\rho}{f \mu_{rel}}} \quad (2.4)$$

Dimana,

δ = Kedalaman penembusan standar (mm)

K = 50 (untuk milimeter) atau 1.98 (untuk inci)

ρ = Resistivitas (dalam micro.ohm.centimeter)

f = Frekuensi (Hz)

μ_{rel} = 1 (untuk *nonferromagnetic material*)

Berikut akan disajikan hasil perhitungan kedalaman penembusan standar / SDP tiap frekuensi yang digunakan dalam pengujian pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hasil perhitungan SDP (*Standard Depth of Penetration*)

<i>Standart Depth of Penetration (mm)</i>			
15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz
0.996	0.704	0.172	0.151

Dari kelima *test piece* yang diuji, dimensi kedalaman retak paling besar yaitu 2.0 mm yang terdapat pada *test piece* #5. Jika dilihat pada Tabel II.2, SDP pada frekuensi diatas hanya mampu menembus kedalaman standar maksimum sebesar 0.996 mm (15 kHz). Namun sinyal *eddy current* tidak langsung menghilang begitu saja. Sinyal *eddy current* memiliki EDP (*Efective Depth of Penetration*) yaitu batasan efektif suatu sinyal mampu menembus kedalaman 3 kali SDP, setelah itu sinyal akan berangsur-rangsur hilang. Berikut akan disajikan hasil perhitungan EDP tiap frekuensi pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Hasil perhitungan EDP (*Effective Depth of Penetration*)

<i>Efective Depth of Penetration (mm)</i>			
15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz
2.987	2.112	0.517	0.454

Hasil perhitungan EDP (*Efective Depth of Penetration*) pada Tabel IV.14 akan dibandingkan dengan hasil pengujian pada blok kalibrasi . Blok kalibrasi yang digunakan dalam pembahasan sub-bab ini bisa dilihat pada Gambar 2.12. Berdasarkan pada tabel di atas, EDP pada frekuensi diatas hanya mampu menembus kedalaman maksimum sebesar 2.987 mm dan minimum sebesar 0.454 mm. Berdasarkan hasil uji pada blok kalibrasi, didapatkan tinggi sinyal indikasi retak buatan yang akan disajikan pada Tabel II.4.

Tabel 2.4 Dimensi kedalaman retak dan tinggi sinyal indikasi pada blok kalibrasi

Dimensi Kedalaman Retak Blok Kalibrasi (mm)	Tinggi Sinyal masing-masing frekuensi (mm)			
	15 kHz	30 kHz	500 kHz	650 kHz
0.50	2.00	3.00	9.00	11.50
1.00	5.50	7.50	16.50	18.00
1.50	8.00	10.00	19.50	21.50
2.00	10.50	13.50	23.00	23.50
2.50	13.00	15.00	24.00	24.50
3.00	15.50	18.00	24.50	25.00
4.00	17.00	20.00	24.50	25.00
5.00	19.50	22.50	24.50	25.50
6.00	19.50	23.00	25.00	25.50
7.00	20.00	23.00	25.00	26.00
8.00	20.00	23.00	25.00	26.00

Berdasarkan Tabel II.2 dan Tabel II.3, Nilai SDP (*Standard Depth of Penetration*) frekuensi 15 kHz, 30 kHz, 500 kHz, dan 650 kHz secara urut sebesar 0.996 mm, 0.704 mm, 0.172 mm, dan 0,151 dan nilai EDP (*Efective Iepth of Penetration*) secara urut sebesar 2.987 mm, 2.112 mm, 0.517 mm, dan 0.454 mm. Tiap frekuensi memiliki batasan kemampuan pendeteksian adanya retak. Pada tabel II.4, telah dilakukan pengujian pada blok kalibrasi untuk mengetahui kemampuan maksimal ke-empat frekuensi dalam mendeteksi adanya indikasi retak. Kemampuan maksimal kemampuan pendeteksian adanya indikasi retak ditandai dengan adanya selisih ketinggian sinyal yang relatif kecil atau tinggi sinyal sama saat mendeteksi kedalaman yang berbeda. Pada frekuensi 15 kHz dan 30 kHz, selisih tinggi sinyal yang relatif kecil terdapat pada saat mendeteksi kedalaman retak 5.00 mm. Hal tersebut dapat dikatakan kemampuan maksimal frekuensi 15 kHz dan 30 kHz dalam mendeteksi adanya retak hanya mampu hingga kedalaman retak 5.00 mm. Pada frekuensi 500 kHz, selisih tinggi sinyal yang relatif kecil terdapat pada saat mendeteksi kedalaman retak 2.00 mm. Hal tersebut dapat dikatakan kemampuan maksimal frekuensi 500 kHz dalam mendeteksi adanya retak hanya mampu hingga kedalaman retak 2.00 mm. Pada frekuensi 650 kHz, selisih tinggi sinyal yang relatif kecil terdapat pada saat mendeteksi kedalaman retak 1.50 mm. Hal tersebut dapat dikatakan kemampuan maksimal frekuensi 650 kHz dalam mendeteksi adanya retak hanya mampu hingga kedalaman retak 1.50 mm

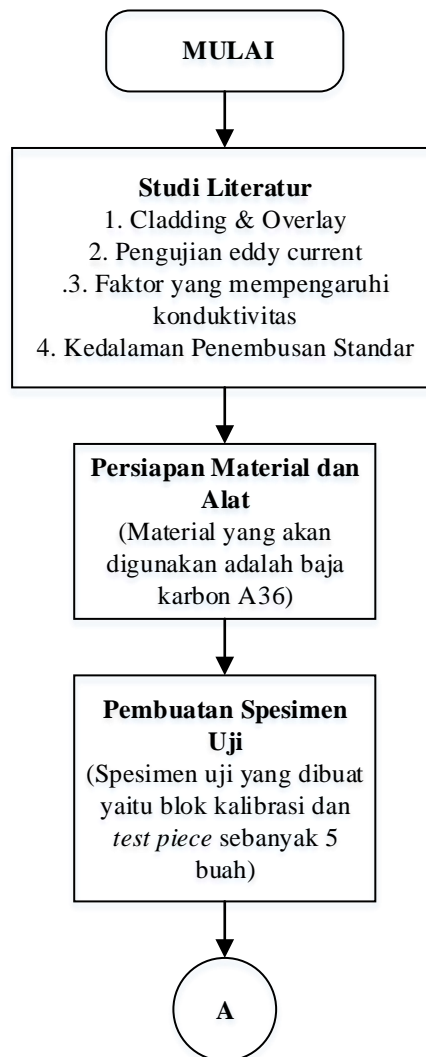
Dapat disimpulkan, perhitungan EDP berguna untuk mengetahui kemampuan frekuensi terhadap keefektifan kedalaman penembusan sehingga dapat menghasilkan keakuratan yang tinggi. Namun ketika akan mendeteksi kedalaman retak yang melebihi kemampuan EDPnya, arus *eddy* masih dapat mengindikasi adanya retak hanya saja keakuratannya menurun hingga mencapai batasan arus *eddy* tidak bisa menembus lebih dalam lagi yang ditandai dengan tidak adanya selisih ketinggian sinyal indikasi retak.

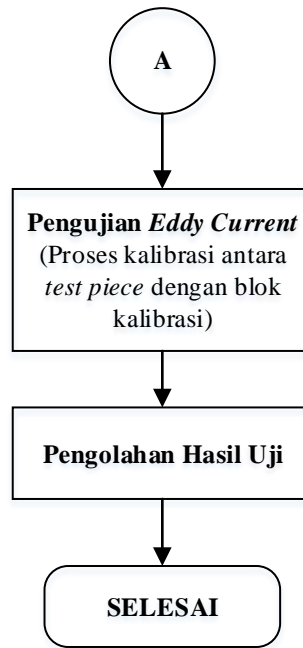
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Persiapan Penelitian

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini, terdapat beberapa persiapan yang perlu dilakukan untuk membantu proses penyelesaian Tugas Akhir ini seperti: studi literatur, referensi dalam pengadaan material, referensi bengkel, dan lain-lain. Persiapan-persiapan yang sudah disebutkan diatas berperan penting saat proses penyelesaian Tugas Akhir ini. Proses-proses yang diperlukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

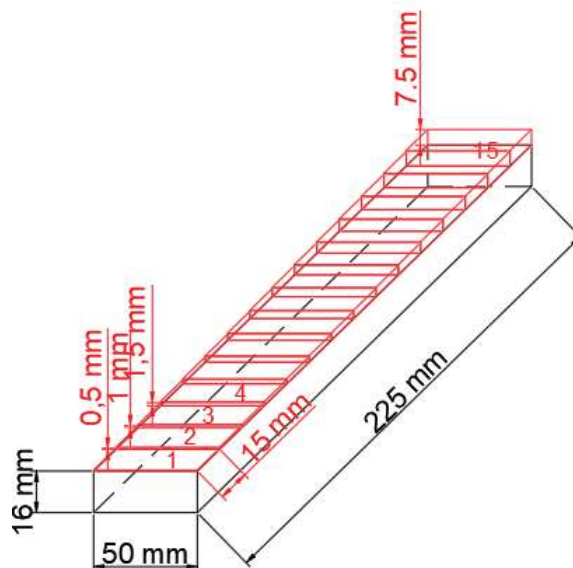




Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Persiapan Material dan Alat

Pada tahap persiapan material, dilakukan proses pengadaan material-material yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir ini, sehingga bisa tercapai tujuan awal dari penelitian. Spesimen yang harus dipersiapkan pada penelitian ini yaitu 2 buah baja karbon A36 dengan ukuran yang berbeda. Baja karbon A36 berukuran panjang 225 mm x lebar 50 mm x tebal 18 mm dengan detail objek seperti pada Gambar 3.2 dan akan digunakan sebagai blok kalibrasi seperti yang terlihat pada Gambar 3.3.

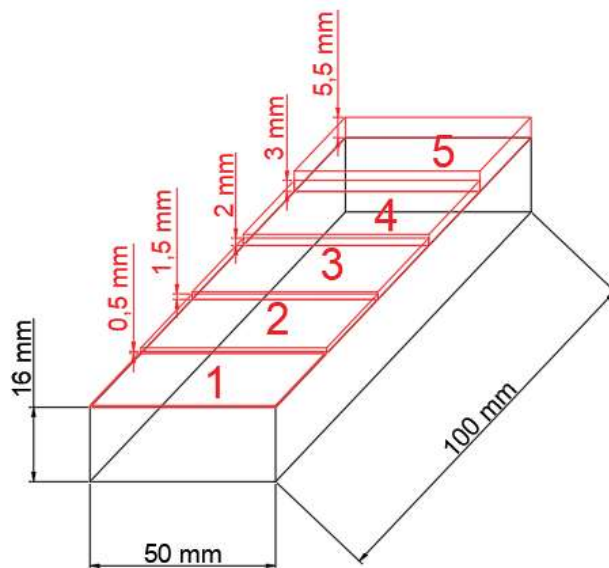


Gambar 3.2 Dimensi blok kalibrasi



Gambar 3.3 Blok kalibrasi

Baja karbon A36 selanjutnya berukuran panjang 100 mm x lebar 50 mm x tebal 18 mm dengan detail objek seperti pada Gambar 3.4 akan digunakan sebagai *test piece* seperti yang terlihat pada Gambar 3.5. Untuk lapisan *cladding*, dipersiapkan kawat las stainless steel SS 309.



Gambar 3.4 Dimensi spesimen uji



Gambar 3.5 Spesimen uji

Setelah pengelasan dilakukan, diperlukan proses *bending* untuk meluruskan material yang deformasi akibat intensitas panas yang diterima saat pengelasan SMAW. Kemudian material akan dipotong dengan mesin *cutting* untuk mendapatkan material yang akan digunakan untuk blok kalibrasi dan spesimen uji. Untuk mendapatkan dimensi yang sesuai dengan kebutuhan, maka tiap material akan dipotong dengan menggunakan mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Setelah itu material akan melalui proses *etching/etsa* untuk melihat tiap-tiap lapisan *stainless steel* yang terfusi dengan baja karbon.

Peralatan-peralatan lain yang digunakan antara lain:

- Spidol / Kapur
- Penggaris
- Jangka sorong
- Sikat baja
- Mesin Las ESAB
- Palu *Chipping*

Peralatan untuk pengujian merupakan peralatan yang utama untuk disiapkan pada penelitian ini. Adapun peralatan yang digunakan untuk pengujian *Eddy Current* sebagai berikut:

1. *Eddy Current Testing Equipment*

- *Probe Coils Fr.15 kHz*
 - *Probe Manufacture/Brand* : Ether NDE
 - *Probe Type* : *Right Angle Probe*
 - *Probe Coil* : *Single Absolute*
 - *Probe Frequency* : 15 kHz

Probe dengan frekuensi 15 kHz tidak dapat didokumentasikan karena tidak mendapatkan izin dari tempat penyewaan *probe*.

- *Probe Coils Fr. 30 kHz*
 - *Probe Manufacture/Brand* : Ether NDE
 - *Probe Type* : *Right Angle Probe*
 - *Probe Coil* : *Normal Single/Absolute*
 - *Probe Frequency* : 30 kHz

Probe dengan frekuensi 30 kHz dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Probe pengujian frekuensi 30 kHz

- *Probe Coils Fr. 50 kHz*
 - *Probe Manufacture/Brand* : Ether NDE
 - *Probe Type* : *Right Angle Probe*
 - *Probe Coil* : *Normal Single/Absolute*
 - *Probe Frequency* : 50 kHz

Probe dengan frekuensi 50 kHz dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Probe pengujian frekuensi 50 kHz

- *Probe Coils Fr. 500 kHz*
 - *Probe Manufacture/Brand* : Ether NDE
 - *Probe Type* : *Right Angle Probe*
 - *Probe Coil* : *Normal Single/Absolute*
 - *Probe Frequency* : 500 kHz

Probe dengan frekuensi 500 kHz dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Probe pengujian frekuensi 500 kHz

- *Eddy Current Testing Machine*
 - *Manufacture/Brand* : OLYMPUS
 - *Type* : Nortec 600
 - *Serial Number* : 60003161142

Eddy current test device dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Eddy Current Test Device

3.3 Pembuatan Spesimen Uji

Dalam tahap pembuatan spesimen uji, dilakukan proses-proses yang membantu pencapaian tujuan dari tahap ini yaitu spesimen uji yang sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya. Proses-proses tersebut adalah sebagai berikut:

- Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)
- *Machining*
- Etsa (*Etching*)

3.3.1 Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Pengelasan SMAW untuk lapisan *cladding stainless steel* dilakukan dengan menggunakan metode *weld overlay* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10. Setelah pengelesan selesai, hasil dari pengelasan masih belum dilanjutkan ke tahap berikutnya dikarenakan masih terdapat bagian-bagian yang kotor dan kasar akibat dari pengelasan sehingga dibutuhkan tahapan selanjutnya untuk menghilangkan hal-hal tersebut yaitu dengan menggunakan gerinda. Gerinda digunakan untuk menghilangkan bagian-bagian yang kasar dan kotor dan juga untuk mengurangi *capping* pada pengelasan. Hasil material setelah digerinda dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.10 Proses Pengelasan



Gambar 3.11 Material setelah mengalami proses pengelasan

3.3.2 *Machining*

Setelah melakukan proses pengelasan, maka tahap *machining* bisa dilaksanakan dengan tujuan untuk mencapai dimensi dari spesimen yang diinginkan. Tahap pertama dalam proses ini yaitu memotong spesimen menjadi dua, satu sebagai blok kalibrasi dan lainnya sebagai spesimen yang diuji. Pemotongan material dilakukan dengan menggunakan mesin *cutting*. Proses *cutting* dapat dilihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Proses *cutting* material

Tahap kedua dari proses ini yaitu meluruskan spesimen yang terdeformasi akibat hasil pengelasan sebelumnya. Proses meluruskan spesimen yang terdeformasi menggunakan mesin *bending*. Proses *bending* dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Proses meluruskan material dengan mesin *bending*

Tahap ketiga dari proses ini yaitu dengan memotong ketebalan *cladding stainless steel* sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya dengan menggunakan alat bantu berupa mesin CNC. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan ketebalan *cladding* sesuai yang dibutuhkan. Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 merupakan dimensi ketebalan *cladding stainless steel* yang akan digunakan.

Tabel 3.1 Dimensi Blok Kalibrasi

No. Step	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)
1	15	50	0.5
2	15	50	1.0
3	15	50	1.5
4	15	50	2.0
5	15	50	2.5
6	15	50	3.0
7	15	50	3.5
8	15	50	4.0
9	15	50	4.5
10	15	50	5.0
11	15	50	5.5
12	15	50	6.0
13	15	50	6.5
14	15	50	7.0
15	15	50	7.5

Tabel 3.2 Dimensi spesimen uji

No.	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)
1	20	50	0.5
2	20	50	1.5
3	20	50	2.0
4	20	50	3.0
5	20	50	5.5



Gambar 3.14 Blok kalibrasi setelah melalui proses *machining*



Gambar 3.15 Spesimen uji setelah melalui proses *machining*

Gambar diatas merupakan hasil dari proses pemotongan material menggunakan mesin CNC dapat dilihat pada Gambar 3.14 untuk blok kalibrasi dan Gambar 3.15 untuk spesimen uji.

3.3.3 Etsa (*Etching*)

Setelah melakukan proses *machining*, maka tahap *etching* bisa dilaksanakan. Tahapan ini dilakukan dengan memberikan larutan etsa kepada spesimen sesuai dengan metode dan waktu yang ditentukan. Proses yang terjadi pada *etching* ini yaitu penyerangan/pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali sehingga struktur yang akan diamati terlihat dengan jelas dan tajam. Peralatan yang dibutuhkan dalam proses *etching* digunakan untuk pengujian ini adalah yaitu:

- DC Power Supply
- Serbuk butiran kimia *oxalic acid* ($C_2H_2O_4$)

DC *Power Supply* merupakan perangkat keras yang berfungsi untuk menyuplai tegangan langsung ke komponen yang membutuhkan tegangan. Besarnya listrik yang mampu ditangani *power supply* ditentukan oleh dayanya dan dihitung dengan satuan *Watt*. *Input power supply* berupa arus bolak-balik (AC) sehingga *power supply* harus mengubah tegangan AC menjadi DC (arus searah). DC *Power Supply* yang digunakan saat proses *etching* dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 DC Power Supply

Larutan etsa yang digunakan dalam proses etsa ini adalah larutan *oxalic acid* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.17. Larutan ini digunakan untuk mengikis bagian logam yang tak terlindungi. Larutan akan dimasukkan kedalam air panas kemudian DC *power supply* dinyalakan untuk mengaliri arus listrik kedalam air panas yang sudah ditampung dan spesimen yang sudah dimasukkan kedalamnya. Proses etsa dapat dilihat pada Gambar 3.18.



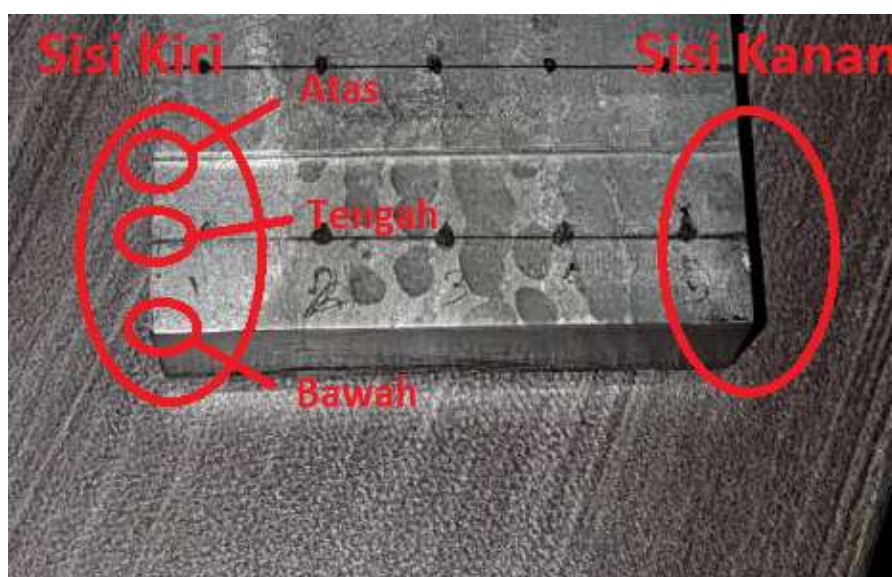
Gambar 3.17 Oxalic Acid



Gambar 3.18 Proses *etching*

3.4 Pengukuran Ulang Ketebalan Blok Kalibrasi dan Spesimen Uji

Proses selanjutnya yaitu mengukur kembali ketebalan dari blok kalibrasi dan spesimen uji. Proses ini dilakukan karena berdasarkan pengamatan *visual*, ketebalan *cladding* antara blok kalibrasi dan spesimen uji berbeda dari yang sudah ditentukan sebelumnya. Maka dari itu proses ini dilakukan untuk mengetahui ketebalan *cladding*. Proses pengukuran ketebalan *cladding* secara *manual* dilakukan mengikuti acuan pada Gambar 3.19, dimana pengukuran dibagi menjadi 2 sisi yaitu sisi kiri dan kanan. Pada masing-masing sisi dibagi lagi menjadi bagian atas, tengah dan bawah. Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 merupakan ketebalan dari blok kalibrasi dan spesimen uji setelah diukur melalui jangka sorong. Kolom “Rata-Rata Total (Kiri+Kanan)” pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 digunakan sebagai acuan pembacaan ketebalan nantinya pada saat pengujian *eddy current* berlangsung.



Gambar 3.19 Pengukuran ketebalan *cladding* secara *manual*

Tabel 3.3 Ketebalan *cladding* blok kalibrasi

No. Step	Tebal (mm)	Tebal Kiri (mm)			Rata2	Tebal Kanan (mm)			Rata2	Rata2 Total (Kiri + Kanan)
		Atas	Tengah	Bawah		Atas	Tengah	Bawah		
1	0.5	0.38	1.50	1.23	1.04	1.21	1.70	2.26	1.72	1.38
2	1.0	1.85	1.89	2.07	1.94	2.77	2.89	2.38	2.68	2.31
3	1.5	2.43	2.87	2.70	2.67	3.29	3.25	3.68	3.41	3.04
4	2.0	3.59	2.99	3.28	3.29	4.22	4.11	3.83	4.05	3.67
5	2.5	3.80	4.00	3.96	3.92	4.49	4.80	4.93	4.74	4.33
6	3.0	4.52	4.62	4.74	4.63	5.07	5.36	5.01	5.15	4.89
7	3.5	5.00	4.93	5.15	5.03	5.66	5.39	5.63	5.56	5.29
8	4.0	5.49	5.35	5.66	5.50	5.99	6.28	6.01	6.09	5.80
9	4.5	5.82	6.14	5.92	5.96	6.89	6.50	7.21	6.87	6.41
10	5.0	6.47	7.09	7.17	6.91	7.31	7.57	7.74	7.54	7.23
11	5.5	7.46	7.34	7.50	7.43	7.92	8.34	8.19	8.15	7.79
12	6.0	7.89	7.62	8.40	7.97	8.65	8.74	8.69	8.69	8.33
13	6.5	8.76	8.84	8.55	8.72	9.11	8.84	8.89	8.95	8.83
14	7.0	8.87	8.80	8.66	8.78	8.86	8.62	8.47	8.65	8.71
15	7.5	9.00	8.77	8.33	8.70	8.89	8.96	8.35	8.73	8.72

Tabel 3.4 Ketebalan *cladding* spesimen uji

No. Step	Tebal (mm)	Tebal Kiri (mm)			Rata2	Tebal Kanan (mm)			Rata2	Rata2 Total (Kiri + Kanan)
		Atas	Tengah	Bawah		Atas	Tengah	Bawah		
1	0.5	3.54	2.76	2.68	2.99	4.50	4.15	3.37	4.01	3.50
2	1.5	5.56	5.04	4.71	5.10	5.73	5.88	5.45	5.69	5.40
3	2.0	6.17	6.21	6.14	6.17	7.04	6.74	6.48	6.75	6.46
4	3.0	7.03	7.07	7.14	7.08	7.80	7.66	7.76	7.74	7.41
5	5.5	8.81	9.59	9.73	9.38	9.75	10.20	10.41	10.12	9.75

3.5 Pengujian *Eddy Current*

Pengujian *Eddy Current* dilakukan setelah proses kalibrasi antara blok kalibrasi dengan spesimen uji *test piece cladding stainless steel* selesai dietsa. Terdapat 1 *test piece* dengan 5 variasi ketebalan *cladding*. Dengan melakukan pengujian *Eddy Current* akan dianalisis ketebalan aktual dari spesimen uji dengan membandingkannya dengan variasi ketebalan blok kalibrasi yang terdapat pada blok kalibrasi dibaca melalui grafik dari alat *Eddy Current Testing*. Apabila tahapan-tahapan sebelum pengujian, serta semua peralatan pengujian telah disiapkan, pengujian *Eddy Current* dapat dilakukan. Berikut adalah tahapan pengujian *Eddy Current Testing*:

1. Material yang akan diuji dan blok kalibrasi disiapkan di meja kerja. Meja kerja yang akan digunakan nanti sebaiknya terbuat dari bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik maupun magnet (non-konduktif) karena dapat memengaruhi arus eddy saat pengujian.
2. Melakukan kalibrasi alat menggunakan blok kalibrasi yang telah dibuat dan yang sudah dipersiapkan. Hal yang harus diperhatikan pada tahap ini adalah pengaturan frekuensi, *gain*, dan sudut fase.
3. Kalibrasi dilakukan setiap akan memulai pengujian sesuai dengan kondisi *test piece* uji. Apabila akan melakukan pengujian pada *test piece* dengan menggunakan frekuensi yang berbeda, maka pengaturan konfigurasi pada masing-masing frekuensi perlu diubah.
4. Kemudian dilakukan pengujian terhadap *test piece* uji. Pengujian dilakukan pada daerah *cladding stainless* dan dibandingkan dengan grafik dari baja karbon.
5. Sebelum melakukan *scanning*, harus dilakukan *balancing/nulling*, yaitu proses menyamakan impedansi antara *probe* dan impedansi internal dari alat *Eddy Current Testing* dengan posisi *probe* tidak menempel pada *test piece* uji.
6. Selanjutnya, bersamaan dengan dijalankannya *probe* pada permukaan *test piece* uji, dicatat hasil dari *real time indicator* yang tertera dalam alat *eddy current*, dimana yang dicatat dari hasilnya yaitu indikator *Degree Peak to Peak*.
7. Setelah semua hasil dicatat serta didokumentasikan, maka pengujian dengan metode *Eddy Current Testing* telah selesai.
8. Langkah selanjutnya adalah menganalisis data yang didapatkan dari hasil *Eddy Current Testing*.

BAB 4

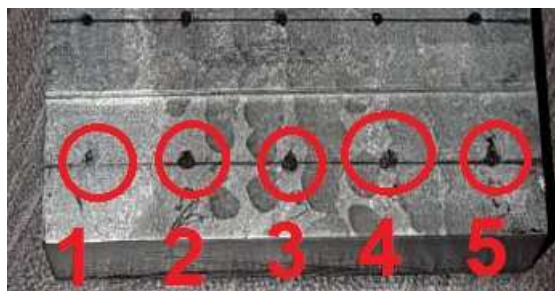
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, akan disajikan analisis data dan pembahasan dari pengujian ECT (*Eddy Current Testing*) untuk menganalisis ketebalan aktual dari spesimen uji yang dibandingkan dengan blok kalibrasi. Seluruh rangkaian pengujian dilakukan dengan mengacu pada metodologi penelitian yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

4.1 Pendahuluan

Sebelum dilakukan pengujian *eddy current* terhadap spesimen uji, diperlukan pengujian pada blok kalibrasi terlebih dahulu. Blok kalibrasi akan berfungsi sebagai standar referensi dalam mengukur ketebalan pada spesimen yang akan diuji. Kalibrasi merupakan kegiatan yang penting dilakukan sebelum memulai pengujian karena menentukan akurasi dan presisi nilai ukur. Untuk membentuk sinyal dalam alat pengujian yang bagus maka diperlukan konfigurasi yang tepat. Konfigurasi tersebut tidak boleh diganti selama pengujian berlangsung. Konfigurasi pada tiap variasi masing-masing frekuensi ini merupakan nilai tetap yang tidak boleh diganti selama pengujian dilakukan. Apabila dilakukan perubahan pada salah satu komponen pengaturan saat pengujian, maka dapat memengaruhi hasil uji yang hasilnya dapat berbeda dengan pengujian sebelumnya.

Pengujian kali ini dilakukan pada 5 (lima) titik pada setiap ketebalan *cladding* dikarenakan hasil *scan* yang dibaca oleh alat *eddy current* berbeda-beda pada ketebalan *cladding* yang sama. Penentuan titik pengujian tersebut didapat dengan menempatkan titik pengujian pada setengah lebar permukaan *cladding* kemudian dibagi menjadi 5 titik sepanjang permukaan lapisan *cladding*. Titik pengujian yang akan dibaca dengan *probe* pada blok kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 4.1. Setelah menentukan titik tersebut maka pengujian baru dapat dilakukan.



Gambar 4.1 Titik pengujian pada blok kalibrasi

Berikut konfigurasi alat *eddy current* di tiap frekuensi yang akan digunakan beserta rekapitulasi hasil pengujian yang didapat dari blok kalibrasi:

- Probe frek. 15 kHz
 - *H Gain / V Gain* : 62.0 dB / 61.0 dB
 - *Frequency* : 15 kHz
 - *Angle* : 50 deg.
 - *Real Time Indicator* : *Degree Peak to Peak*
 - *H Pos / V Pos* : -10% / 50%
 - *Probe Type* : *Single Absolute*
 - *Probe Connector* : LEMO-16

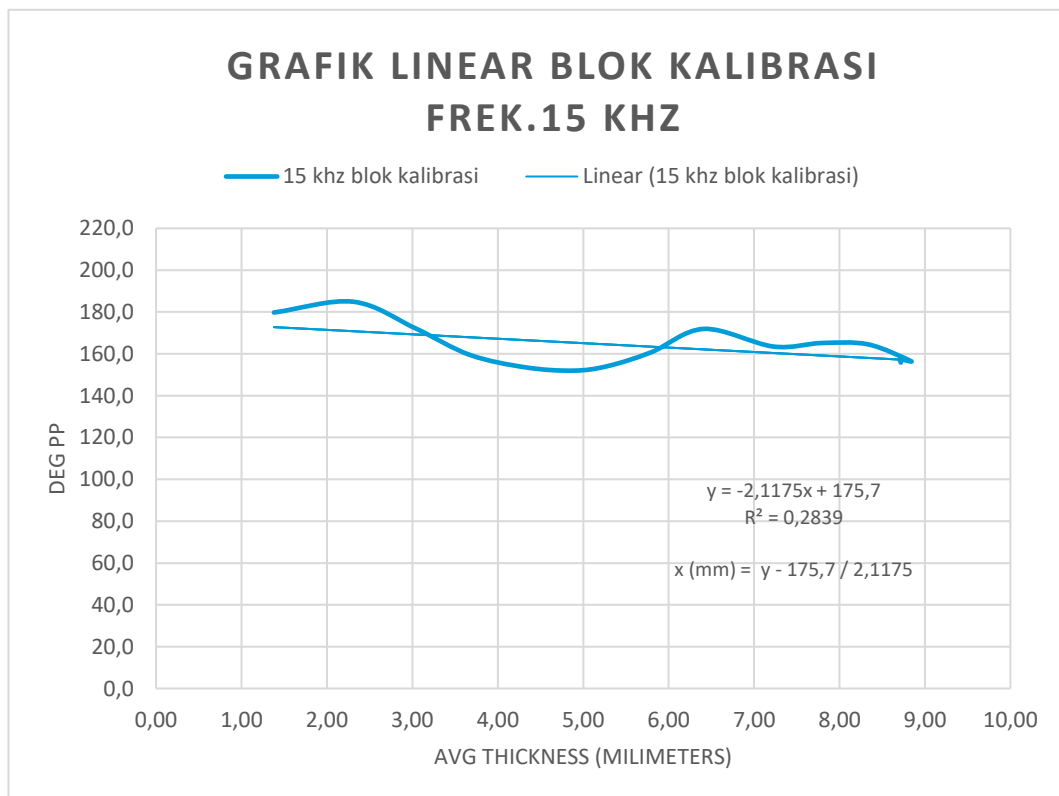
Berdasarkan konfigurasi frekuensi diatas, salah satu *sample* hasil *scan* dari alat *eddy current* pada frekuensi 15 kHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan hasil *scan* secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Hasil pengujian yang dicatat dari alat uji *eddy current* yaitu dari yang ditunjukkan pada *real time indicator* dimana berdasarkan pengaturan konfigurasi diatas maka alat uji *eddy current* membacanya dalam *Degree Peak to Peak* ($^{\circ}$ pp). Setelah didapat hasil pengujian pada kelima titik pengujian kemudian diambil nilai rata-rata dari kelima titik tersebut. Nilai rata-rata kelima titik tersebut akan dipakai sebagai referensi dalam tiap-tiap lapisan ketebalan *cladding* yang akan dibandingkan dengan hasil pengujian yang didapat pada spesimen uji. Rekapitulasi dari hasil pengujian blok kalibrasi pada frekuensi 15 kHz dapat dilihat pada Tabel 4.1. Grafik linear pada Gambar 4.3 serta persamaannya dibuat untuk membantu saat membandingkan hasil pengujian pada blok kalibrasi dengan spesimen uji.



Gambar 4.2 Salah satu hasil *scan* blok kalibrasi pada frek.15 kHz

Tabel 4.1 Hasil pengujian blok kalibrasi pada frek. 15 kHz (Deg.)

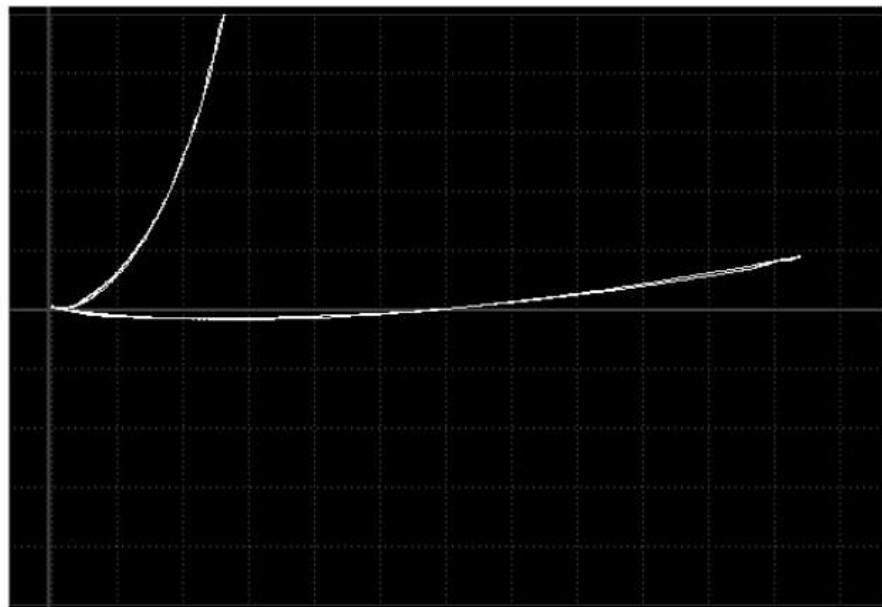
No. Step	Point					Rata2
	1	2	3	4	5	
1	171.6	186.3	190.5	187.1	163.4	179.8
2	194.8	195.0	199.9	176.7	158.2	184.9
3	169.5	187.8	181.0	166.5	156.1	172.2
4	157.9	171.4	167.8	153.4	147.2	159.5
5	153.6	171.6	146.8	147.7	147.9	153.5
6	150.8	161.7	151.2	146.7	149.5	152.0
7	152.1	156.6	161.3	152.1	149.0	154.2
8	164.9	158.1	163.6	155.7	161.6	160.8
9	178.4	173.2	169.6	172.2	166.3	171.9
10	173.0	173.5	152.6	157.9	160.5	163.5
11	168.6	162.7	160.3	168.9	165.4	165.2
12	174.1	162.4	161.1	158.7	166.5	164.6
13	163.2	155.5	151.4	156.4	156.6	156.6
14	161.7	153.0	152.0	163.9	156.1	157.3
15	156.5	151.1	156.7	157.4	157.5	155.8



Gambar 4.3 Grafik linear dari pengujian blok kalibrasi pada frek.15 kHz

- Probe frek. 30 kHz
 - *H Gain / V Gain* : 63.0 dB / 57.0 dB
 - *Frequency* : 30 kHz
 - *Angle* : 30 deg.
 - *Real Time Indicator* : *Degree Peak to Peak*
 - *H Pos / V Pos* : -10% / 50%
 - *Probe Type* : *Single Absolute*
 - *Probe Connector* : BNC

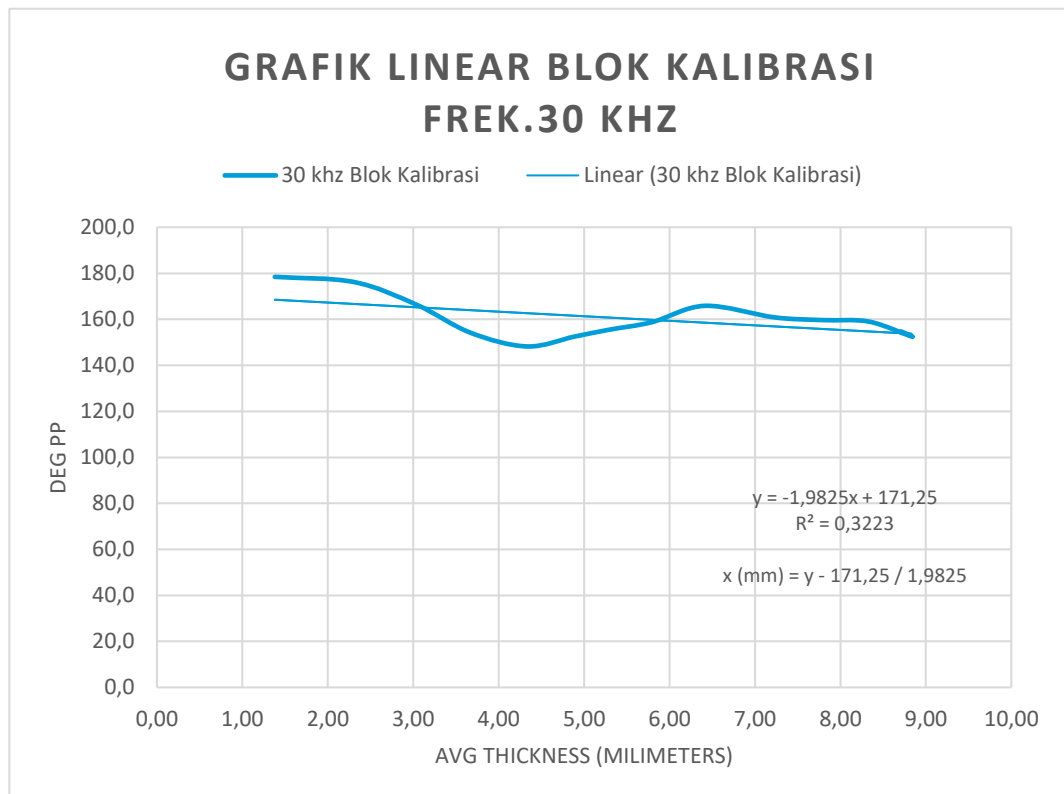
Berdasarkan konfigurasi frekuensi diatas, salah satu *sample* hasil *scan* dari alat *eddy current* pada frekuensi 30 kHz dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan hasil *scan* secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Sama halnya dengan penjelasan pada frekuensi sebelumnya, pada pengujian frekuensi 30 kHz pun menerapkan hal yang sama pada pengujian frekuensi 15 kHz dimana hasil pengujian dicatat dalam *Degree Peak to Peak* ($^{\circ}$ pp) dan dilakukan pada 5 (lima) titik pengujian yang sudah ditentukan sebelumnya. Referensi yang akan dipakai tetap sama yaitu dengan menggunakan nilai rata-rata dari 5 (lima) titik pengujian. Rekapitulasi dari hasil pengujian blok kalibrasi pada frekuensi 30 kHz dapat dilihat pada Tabel 4.2. Sama seperti sebelumnya, perlu dibuat grafik linear seperti pada Gambar 4.4 serta persamaannya untuk membantu saat membandingkan hasil pengujian pada blok kalibrasi dengan spesimen uji.



Gambar 4.4 Salah satu hasil *scan* blok kalibrasi pada frek.30 kHz

Tabel 4.2 Hasil pengujian blok kalibrasi pada frek. 30 kHz (Deg.)

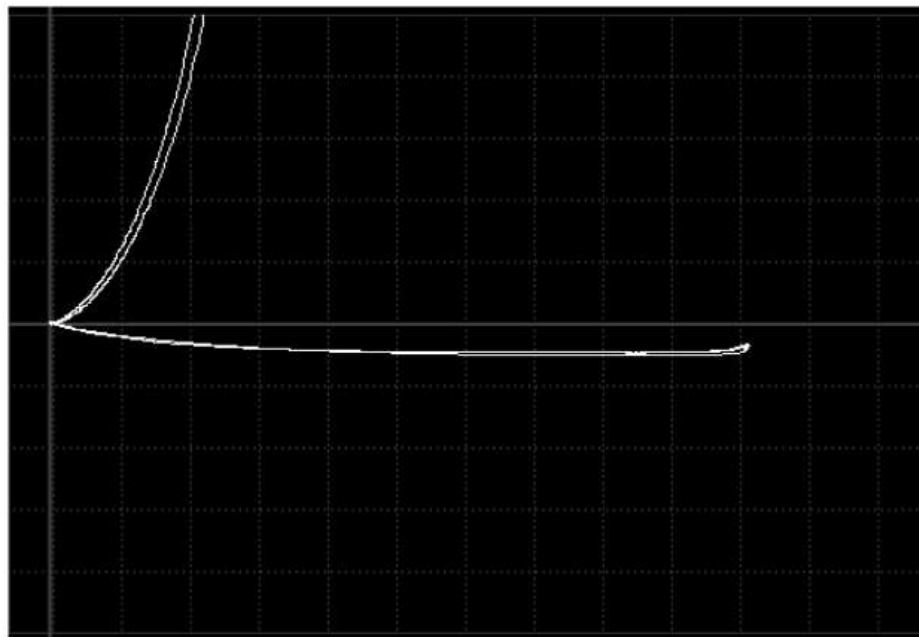
No. Step	Point					Rata2
	1	2	3	4	5	
1	175.4	184.2	183.1	184.0	165.6	178.5
2	184.6	182.8	186.7	172.5	154.3	176.2
3	164.8	175.6	174.4	164.4	152.7	166.4
4	156.8	163.4	158.1	145.5	147.0	154.2
5	146.5	155.2	146.7	146.1	146.5	148.2
6	150.1	161.9	154.4	147.5	148.5	152.5
7	156.3	158.1	160.7	152.1	150.2	155.5
8	164.7	153.1	159.0	156.0	161.1	158.8
9	169.2	168.1	159.5	169.3	163.2	165.9
10	167.9	164.3	153.7	160.9	157.5	160.9
11	162.3	159.5	153.1	163.8	159.6	159.7
12	162.9	159.4	153.9	153.5	165.4	159.0
13	154.5	150.8	148.2	156.0	153.2	152.5
14	156.8	151.2	150.5	157.7	157.1	154.7
15	156.7	151.7	149.5	155.4	156.9	154.0



Gambar 4.5 Grafik linear dari pengujian blok kalibrasi pada frek.30 kHz

- Probe frek. 50 kHz
 - *H Gain / V Gain* : 70.0 dB / 63.0 dB
 - *Frequency* : 50 kHz
 - *Angle* : 120 deg.
 - *Real Time Indicator* : *Degree Peak to Peak*
 - *H Pos / V Pos* : -10% / 50%
 - *Probe Type* : *Single Absolute*
 - *Probe Connector* : BNC

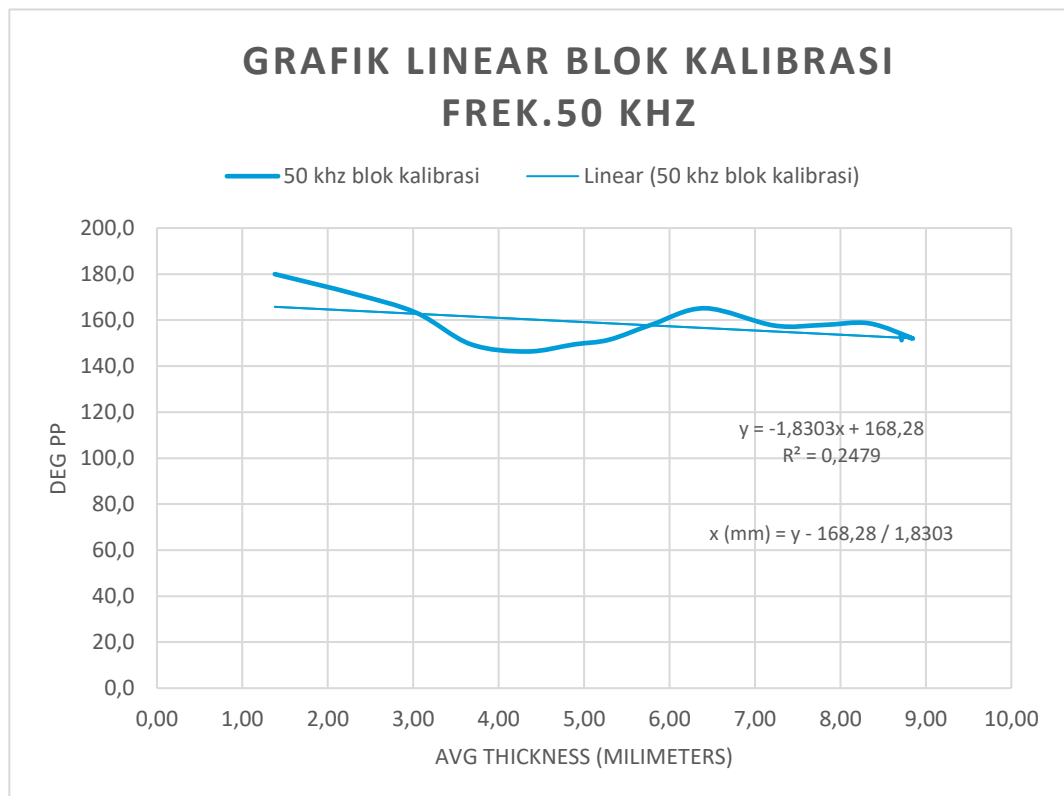
Berdasarkan konfigurasi frekuensi diatas, salah satu *sample* hasil *scan* dari alat *eddy current* pada frekuensi 50 kHz dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan hasil *scan* secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Sama halnya dengan penjelasan pada frekuensi sebelumnya, pada pengujian frekuensi 50 kHz pun menerapkan hal yang sama pada pengujian frekuensi 15 kHz dan 30 kHz dimana hasil pengujian dicatat dalam *Degree Peak to Peak* ($^{\circ}$ pp) dan dilakukan pada 5 (lima) titik pengujian yang sudah ditentukan sebelumnya. Referensi yang akan dipakai tetap sama yaitu dengan menggunakan nilai rata-rata dari 5 (lima) titik pengujian. Rekapitulasi dari hasil pengujian blok kalibrasi pada frekuensi 50 kHz dapat dilihat pada Tabel 4.3. Sama seperti sebelumnya, perlu dibuat grafik linear seperti pada Gambar 4.7 serta persamaannya untuk membantu saat membandingkan hasil pengujian pada blok kalibrasi dengan spesimen uji.



Gambar 4.6 Salah satu hasil *scan* blok kalibrasi pada frek.50 kHz

Tabel 4.3 Hasil pengujian blok kalibrasi pada frek. 50 kHz (Deg.)

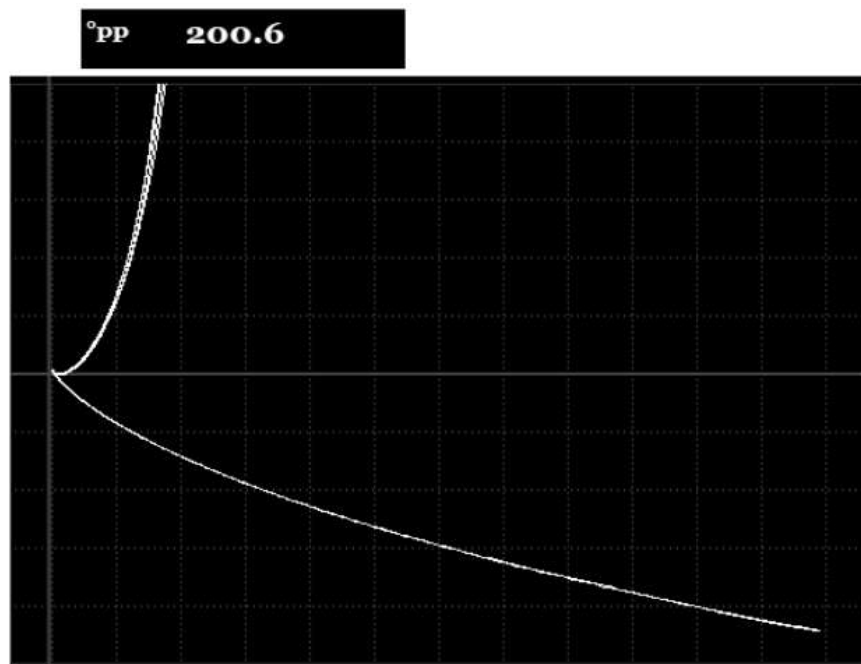
No. Step	Point					Rata2
	1	2	3	4	5	
1	181.6	185.1	185.4	186.8	161.0	180.0
2	182.8	176.9	184.3	168.1	144.9	171.4
3	172.0	170.2	171.3	153.3	149.0	163.2
4	147.6	158.1	154.6	143.9	143.5	149.5
5	143.8	154.5	144.2	144.6	144.6	146.3
6	148.1	155.4	149.5	147.4	146.8	149.4
7	148.2	151.5	161.0	148.4	148.2	151.5
8	163.4	151.5	156.7	153.9	165.0	158.1
9	170.0	167.0	161.6	165.1	162.0	165.1
10	163.9	161.7	152.7	155.9	153.9	157.6
11	158.9	158.2	151.4	160.7	160.1	157.9
12	162.7	159.6	153.5	155.4	161.9	158.6
13	154.3	148.8	146.7	156.2	155.1	152.2
14	157.9	150.9	147.3	155.2	155.3	153.3
15	152.1	151.1	147.2	150.6	155.4	151.3



Gambar 4.7 Grafik linear dari pengujian blok kalibrasi pada frek.50 kHz

- Probe frek. 500 kHz
 - *H Gain / V Gain* : 52.0 dB / 53.0 dB
 - *Frequency* : 500 kHz
 - *Angle* : 335 deg.
 - *Real Time Indicator* : *Degree Peak to Peak*
 - *H Pos / V Pos* : -10% / 50%
 - *Probe Type* : *Single Absolute*
 - *Probe Connector* : BNC

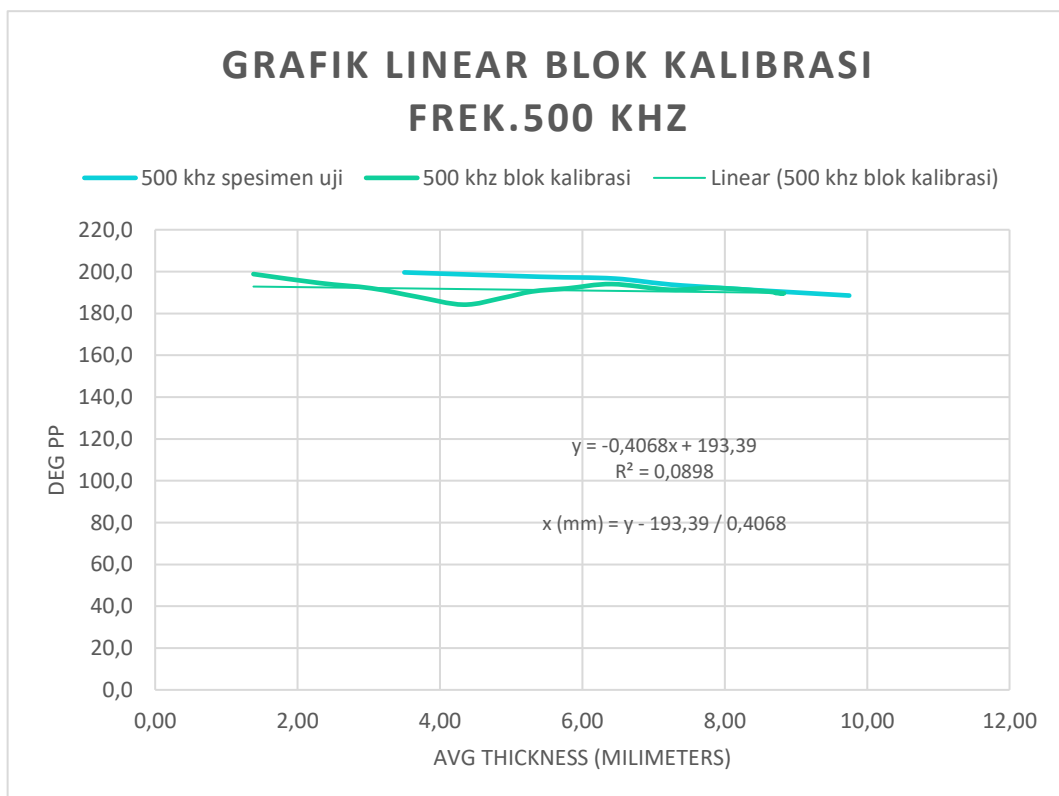
Berdasarkan konfigurasi frekuensi diatas, salah satu *sample* hasil *scan* dari alat *eddy current* pada frekuensi 500 kHz dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan hasil *scan* secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Pengujian pada frekuensi 500 kHz ini tetap menerapkan hal yang sama seperti pengujian pada frekuensi sebelumnya dimana indikator yang dicatat pada hasil pengujian ini adalah *Degree Peak To Peak* ($^{\circ}$ pp) dan referensi yang akan digunakan untuk melakukan perbandingan antara blok kalibrasi dan spesimen uji yaitu nilai rata-rata dari kelima titik pengujian yang telah ditentukan sebelumnya. Rekapitulasi dari hasil pengujian blok kalibrasi pada frekuensi 500 kHz dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan grafik linear serta persamaannya pada pengujian blok kalibrasi pada frekuensi 500 kHz dapat dilihat pada Gambar 4.9



Gambar 4.8 Salah satu hasil *scanning* blok kalibrasi pada frek.500 kHz

Tabel 4.4 Hasil pengujian blok kalibrasi pada frek. 500 kHz (Deg.)

No. Step	Point					Rata2
	1	2	3	4	5	
1	200.6	201.0	200.7	199.6	192.1	198.8
2	198.8	197.6	198.5	190.2	187.5	194.5
3	192.7	194.8	194.2	191.6	186.8	192.0
4	188.8	191.5	189.9	186.0	183.8	188.0
5	183.6	190.0	181.7	182.8	182.8	184.2
6	188.1	191.3	189.9	186.0	182.0	187.5
7	190.7	190.4	192.9	189.6	188.8	190.5
8	193.4	191.0	192.4	190.4	192.7	192.0
9	195.5	194.3	192.1	194.9	193.3	194.0
10	193.8	192.7	188.8	191.3	190.1	191.3
11	192.1	191.7	191.4	193.2	192.5	192.2
12	193.5	191.2	189.1	189.3	193.2	191.3
13	190.1	189.2	188.0	190.3	190.4	189.6
14	191.5	188.6	187.9	189.9	190.9	189.8
15	190.4	189.5	189.0	190.6	190.6	190.0

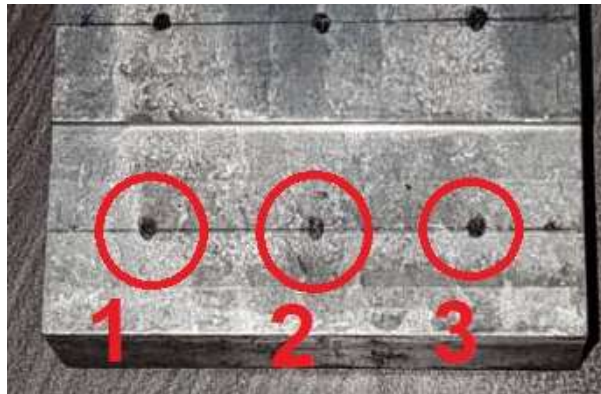


Gambar 4.9 Grafik linear dari pengujian blok kalibrasi pada frek.50 kHz

Setelah didapatkan data konfigurasi untuk blok kalibrasi tiap *probe*, pengujian terhadap spesimen uji bisa dilakukan.

4.2 Hasil pengujian pada spesimen uji

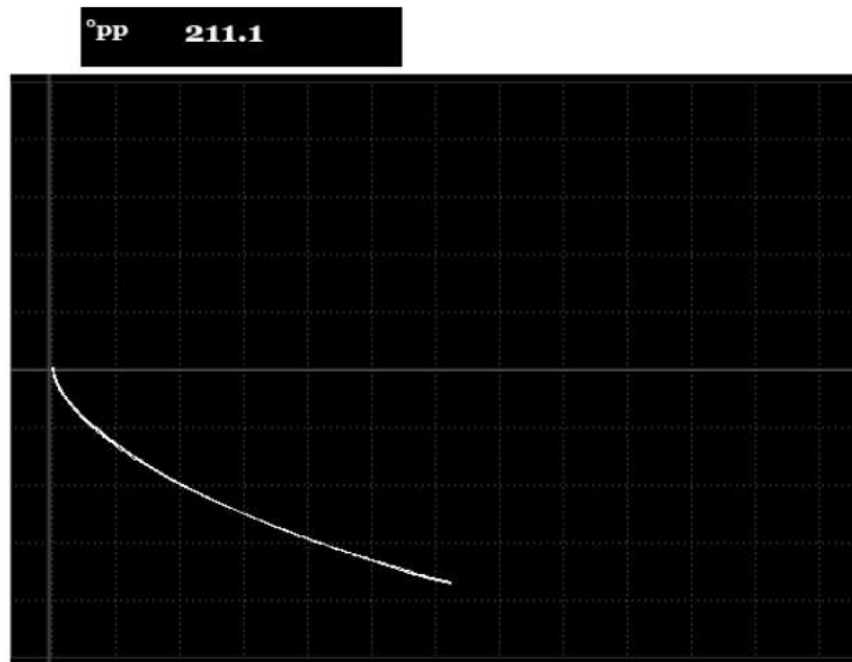
Pada sub bab ini akan diberikan hasil pengujian pada spesimen uji tiap masing-masing *probe*. Pengujian pada spesimen uji menerapkan hal yang sama seperti pengujian pada blok kalibrasi sebelumnya dimana menggunakan 3 (tiga) titik pengujian pada setiap ketebalan lapisan *cladding*. Penentuan titik pengujian tersebut didapat dengan menempatkan titik pengujian pada setengah lebar permukaan *cladding* kemudian dibagi menjadi 3 (tiga) titik sepanjang permukaan lapisan *cladding*. Titik pengujian yang akan dibaca dengan *probe* pada blok kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 4.10. Setelah menentukan titik tersebut maka pengujian baru dapat dilakukan.



Gambar 4.10 Titik pengujian pada spesimen uji

4.2.1 Hasil pengujian spesimen uji dengan *probe* frekuensi 15 kHz

Berdasarkan konfigurasi pada frekuensi 15 kHz, salah satu *sample* hasil *scan* dari alat *eddy current* pada frekuensi 15 kHz dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan hasil *scan* secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Hasil pengujian yang dicatat pada spesimen uji sama seperti pada blok kalibrasi yaitu dari yang ditunjukkan pada *real time indicator* dimana berdasarkan pengaturan konfigurasi pada frekuensi 15 kHz maka alat uji *eddy current* membacanya dalam *Degree Peak to Peak* ($^{\circ}$ pp). Setelah didapat hasil pengujian pada ketiga titik pengujian kemudian diambil nilai rata-rata dari ketiga titik tersebut. Nilai rata-rata ketiga titik tersebut akan dipakai sebagai referensi dalam tiap-tiap lapisan ketebalan *cladding* yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengujian yang didapat dengan pada blok kalibrasi. Rekapitulasi dari hasil pengujian spesimen uji pada frekuensi 15 kHz dapat dilihat pada Tabel 4.5.



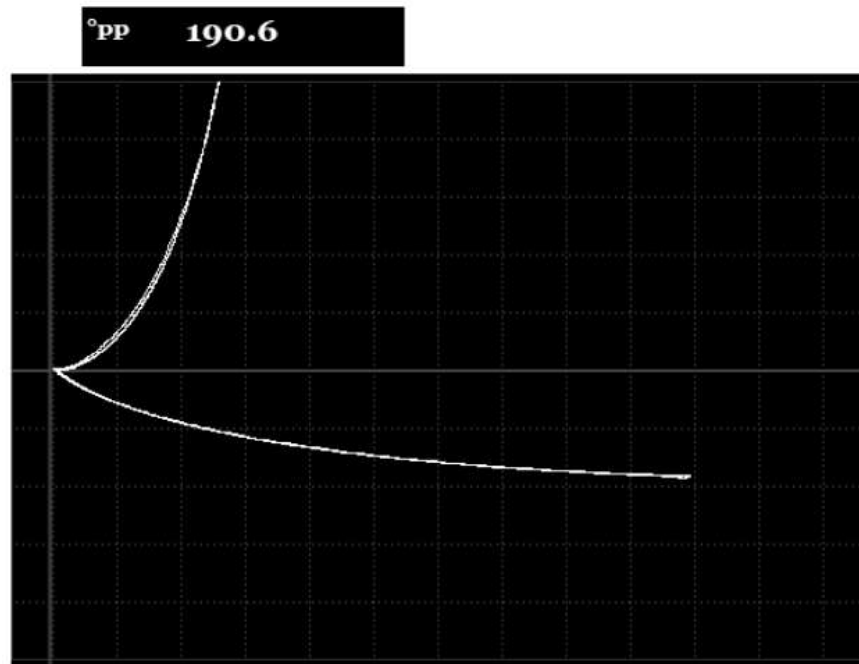
Gambar 4.11 Salah satu hasil *scan* spesimen uji pada probe frek.15 kHz

Tabel 4.5 Rekapitulasi hasil pengujian spesimen uji dengan probe frek.15 kHz

No. Step	Point			Rata2
	1	2	3	
1	211.1	212.6	215.8	213.2
2	208.7	192.9	209.0	203.5
3	198.8	185.0	193.1	192.3
4	171.5	175.7	174.2	173.8
5	149.3	149.6	150.1	149.7

4.2.2 Hasil pengujian spesimen uji dengan probe frekuensi 30 kHz

Berdasarkan konfigurasi pada frekuensi 30 kHz, salah satu *sample* hasil *scan* dari alat *eddy current* pada frekuensi 30 kHz dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan hasil *scan* secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Pengujian pada frekuensi 30 kHz ini tetap menerapkan hal yang sama seperti pengujian pada frekuensi sebelumnya yaitu mencatat hasil pada *real time indicator* di alat pengujian berupa *Degree Peak to Peak* (°pp). Nilai rata-rata ketiga titik pengujian akan diambil menjadi referensi dalam tiap-tiap lapisan ketebalan *cladding* untuk digunakan saat melakukan perbandingan dengan blok kalibrasi. Rekapitulasi dari hasil pengujian blok kalibrasi pada frekuensi 30 kHz dapat dilihat pada Tabel 4.6.



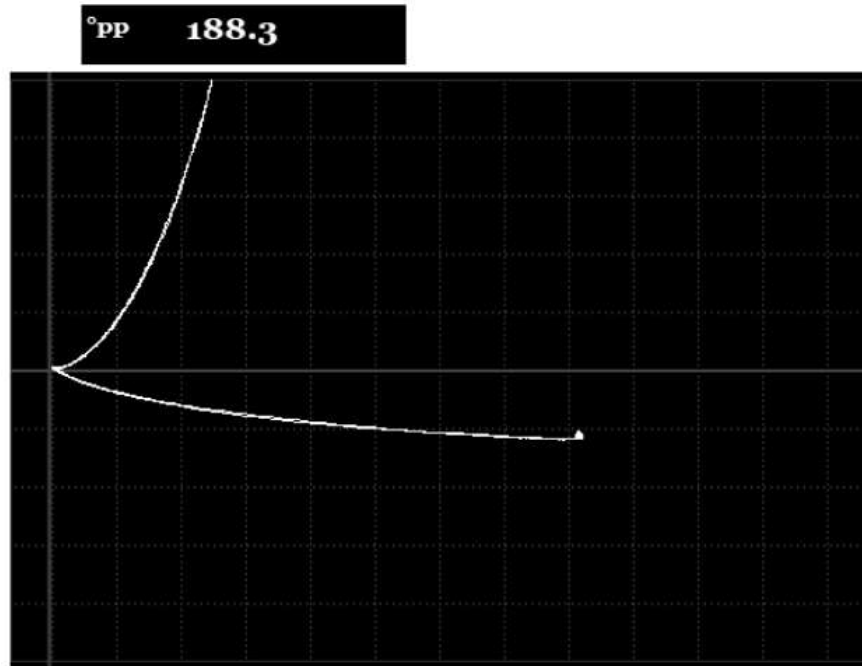
Gambar 4.12 Salah satu hasil *scan* spesimen uji pada probe frek.30 kHz

Tabel 4.6 Rekapitulasi hasil pengujian spesimen uji dengan probe frek.30 kHz

No. Step	Point			Rata2
	1	2	3	
1	190.6	189.2	191.5	190.4
2	186.2	181.2	186.4	184.6
3	181.9	178.8	179.0	179.9
4	166.3	173.3	176.5	172.0
5	150.0	149.0	152.6	150.5

4.2.3 Hasil pengujian spesimen uji dengan probe frekuensi 50 kHz

Berdasarkan konfigurasi frekuensi diatas, salah satu *sample* hasil *scan* dari alat *eddy current* pada frekuensi 50 kHz dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan hasil *scan* secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Pengujian pada frekuensi 50 kHz ini tetap menerapkan hal yang sama seperti pengujian pada frekuensi sebelumnya yaitu mencatat hasil pada *real time indicator* di alat pengujian berupa *Degree Peak to Peak* (°pp). Nilai rata-rata ketiga titik pengujian akan diambil menjadi referensi dalam tiap-tiap lapisan ketebalan *cladding* untuk digunakan saat melakukan perbandingan dengan blok kalibrasi. Rekapitulasi dari hasil pengujian blok kalibrasi pada frekuensi 50 kHz dapat dilihat pada Tabel 4.7.



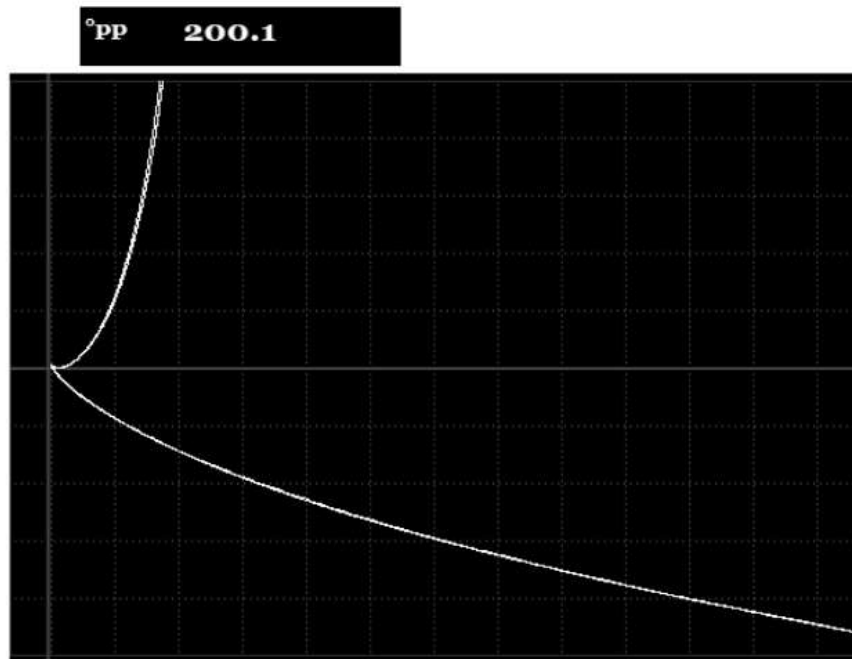
Gambar 4.13 Salah satu hasil *scan* spesimen uji pada probe frek.50 kHz

Tabel 4.7 Rekapitulasi hasil pengujian spesimen uji dengan probe frek.50 kHz

No. Step	Point			Rata2
	1	2	3	
1	188.3	185.3	187.2	186.9
2	181.4	175.5	183.4	180.1
3	178.9	176.3	175.0	176.7
4	163.7	168.1	167.9	166.6
5	147.8	147.7	150.4	148.6

4.2.4 Hasil pengujian spesimen uji dengan probe frekuensi 500 kHz

Berdasarkan konfigurasi frekuensi diatas, salah satu *sample* hasil *scan* dari alat *eddy current* pada frekuensi 500 kHz dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan hasil *scan* secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran. Pengujian pada frekuensi 500 kHz ini tetap menerapkan hal yang sama seperti pengujian pada frekuensi sebelumnya yaitu mencatat hasil pada *real time indicator* di alat pengujian berupa *Degree Peak to Peak* ($^{\circ}$ pp). Nilai rata-rata ketiga titik pengujian akan diambil menjadi referensi dalam tiap-tiap lapisan ketebalan *cladding* untuk digunakan saat melakukan perbandingan dengan blok kalibrasi Rekapitulasi dari hasil pengujian blok kalibrasi pada frekuensi 500 kHz dapat dilihat pada Tabel 4.8.



Gambar 4.14 Salah satu hasil *scan* spesimen uji dengan probe frek.500kHz

Tabel 4.8 Rekapitulasi hasil pengujian spesimen uji dengan probe frek.500 kHz

No. Step	Point			Rata2
	1	2	3	
1	200.1	199.0	199.7	199.6
2	197.7	196.5	198.4	197.5
3	197.5	196.3	196.1	196.6
4	192.6	192.8	194.6	193.3
5	188.9	187.7	189.0	188.5

4.3 Perbandingan *Degree Peak to Peak* dan ketebalan yang didapat pada spesimen uji dengan blok kalibrasi

Hasil pengujian yang sebelumnya telah disajikan diambil berdasarkan hasil *Degree Peak to Peak* pada tiap-tiap blok yang terdapat pada blok kalibrasi dan spesimen uji. Blok-blok pada spesimen uji dan blok kalibrasi dibagi berdasarkan variasi ketebalan dan pada masing-masing blok tersebut terdapat 5 titik untuk blok kalibrasi dan 3 titik pada spesimen uji yang berfungsi sebagai titik uji.

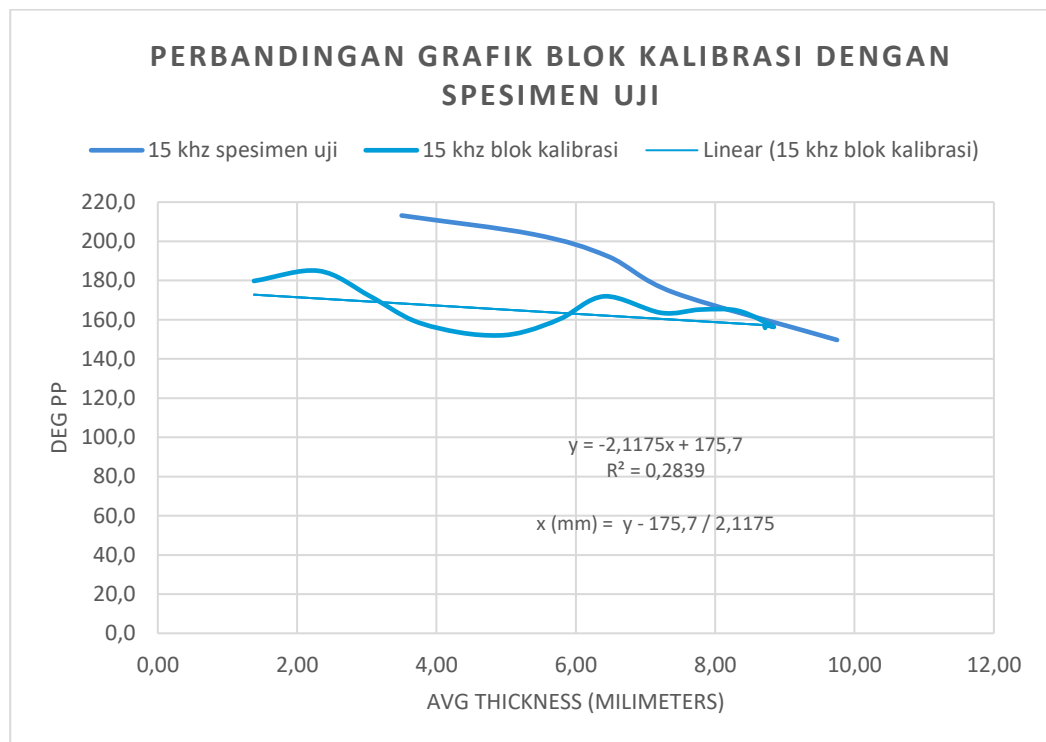
Dengan membandingkan hasil yang didapat dari keduanya, besarnya perbedaan dari hasil pembacaan blok kalibrasi dengan spesimen uji dapat diketahui dengan memasukkan ketebalan dari spesimen uji (kordinat x) ke dalam persamaan linear dari grafik linear blok

kalibrasi pada masing-masing variasi frekuensi. Sebagai contoh, pada hasil pengujian dari spesimen uji dan blok kalibrasi pada frekuensi 500 kHz jika kita masukkan ketebalan dari spesimen uji (x) ke dalam persamaan linear dari blok kalibrasi yaitu $y = -0,4068x + 193,39$, maka kita akan mendapatkan hasil pengujian (y) blok kalibrasi tepat pada ketebalan dari spesimen uji. Setelah didapatkan hasilnya, baru dapat diketahui seberapa besar perbandingannya antara hasil yang didapat dari blok kalibrasi dan spesimen uji.

Pada sub-bab di bawah ini akan disajikan perbandingan grafik linear antara spesimen uji dengan blok kalibrasi pada frekuensi yang sama.

4.3.1 Perbandingan grafik linear spesimen uji dengan blok kalibrasi dengan probe frekuensi 15 kHz

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan hasil pengujian antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada *probe* frekuensi 15 kHz. Grafik pada Gambar 4.15 dibuat dalam bentuk 2 kordinat dimana kordinat x merupakan rata-rata ketebalan *cladding* dengan satuannya yaitu milimeter dan kordinat y merupakan hasil pengujian yang didapat dinyatakan dalam *Degree Peak to Peak*. Persamaan grafik linear yang didapat dari blok kalibrasi yaitu $y = -2,1175x + 175,7$. Tebal *cladding* didapat dengan cara substitusi persamaan linear sebelumnya. Besarnya perbedaan hasil pengujian keduanya dapat dilihat pada Tabel 4.9.



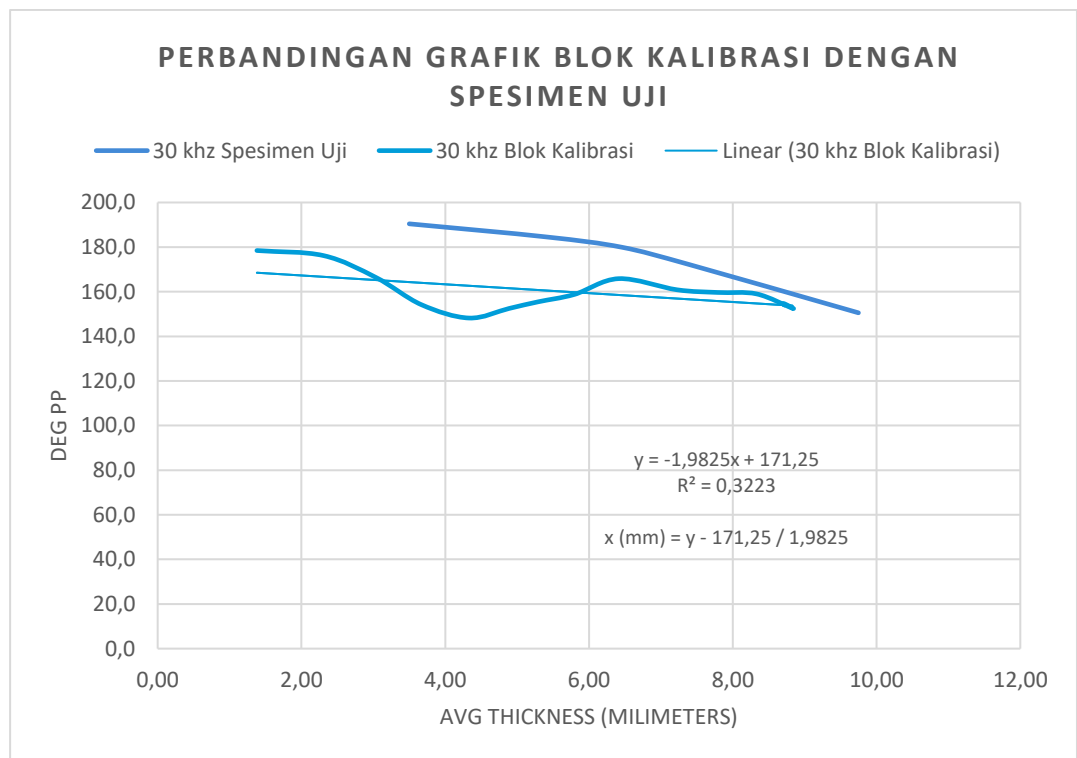
Gambar 4.15 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frek.15 kHz

Tabel 4.9 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 15 kHz

No. Step	Blok kalibrasi		Spesimen Uji		Persentase perbedaan
	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	
1	168.3	3.50	213.2	4.24	21%
2	164.3	5.40	203.5	6.44	19%
3	162.0	6.46	192.3	7.88	16%
4	160.0	7.41	173.8	8.00	8%
5	155.1	9.75	149.7	9.40	-4%
$y = -2.1175x + 175.7$					

4.3.2 Perbandingan grafik linear spesimen uji dengan blok kalibrasi dengan probe frekuensi 30 kHz

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan hasil pengujian antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada *probe* frekuensi 30 kHz. Grafik pada Gambar 4.16 dibuat dalam bentuk 2 kordinat dimana kordinat x merupakan rata-rata ketebalan *cladding* dan kordinat y merupakan hasil pengujiannya. Persamaan grafik linear dan besarnya perbedaan hasil pengujian keduanya dapat dilihat pada Tabel 4.10.



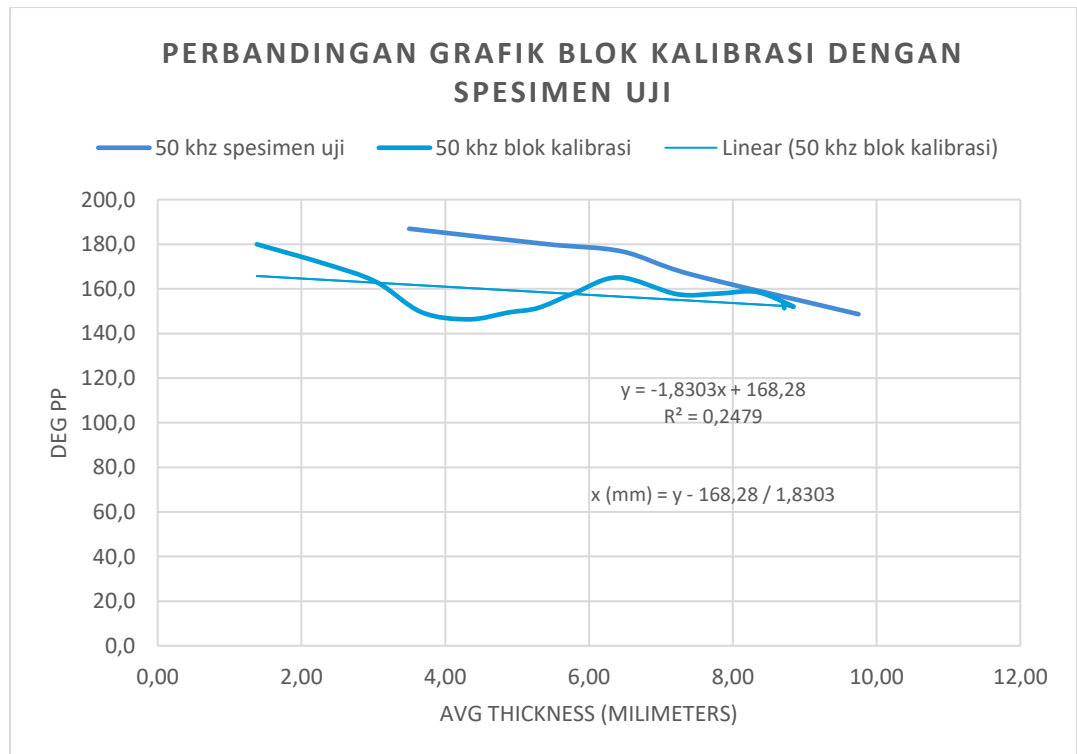
Gambar 4.16 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frek.30 kHz

Tabel 4.10 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 30 kHz

No. Step	Blok kalibrasi		Spesimen Uji		Persentase perbedaan
	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	
1	164.3	3.50	190.4	3.98	14%
2	160.6	5.40	184.6	6.10	13%
3	158.4	6.46	179.9	7.23	12%
4	156.6	7.41	172.0	8.08	9%
5	151.9	9.75	150.5	9.66	-1%
$y = -1.9825x + 171.25$					

4.3.3 Perbandingan grafik linear spesimen uji dengan blok kalibrasi dengan probe frekuensi 50 kHz

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan hasil pengujian antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada *probe* frekuensi 50 kHz. Grafik pada Gambar 4.17 dibuat dalam bentuk 2 kordinat dimana kordinat x merupakan rata-rata ketebalan *cladding* dan kordinat y merupakan hasil pengujiannya. Persamaan grafik linear dan besarnya perbedaan hasil pengujian keduanya dapat dilihat pada Tabel 4.11.



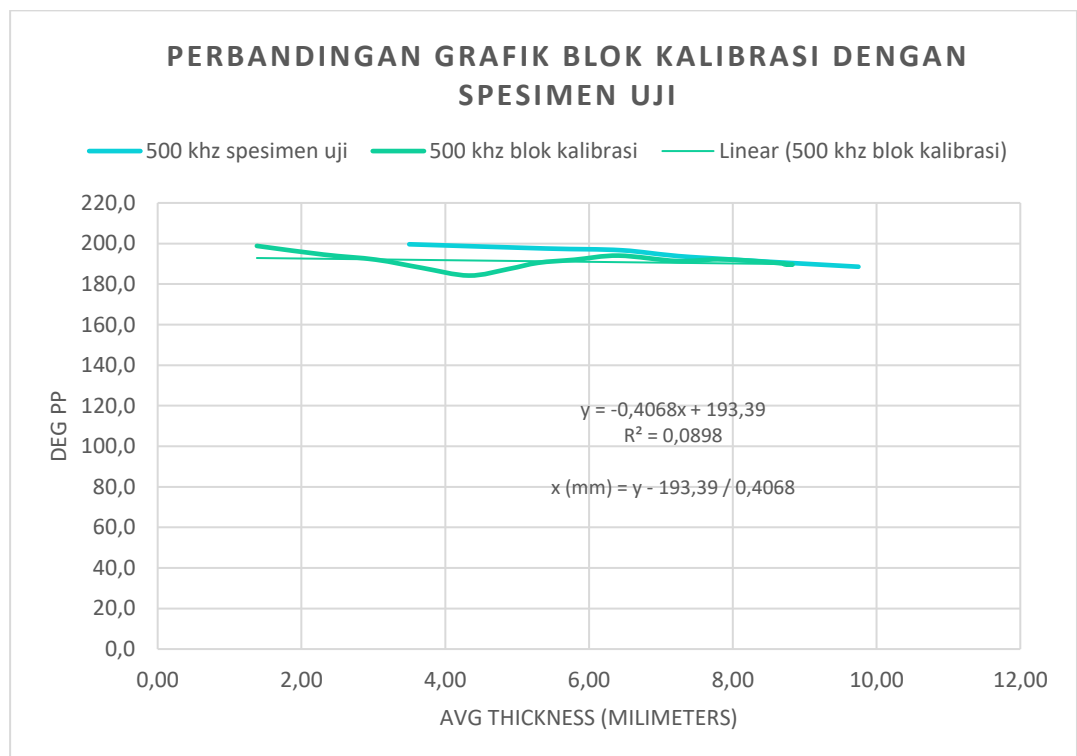
Gambar 4.17 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frek.50 kHz

Tabel 4.11 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 50 kHz

No. Step	Blok kalibrasi		Spesimen Uji		Persentase perbandingan
	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	
1	161.9	3.50	186.9	3.97	13%
2	158.4	5.40	180.1	6.04	12%
3	156.5	6.46	176.7	7.21	11%
4	154.7	7.41	166.6	7.94	7%
5	150.4	9.75	148.6	9.63	-1%
$y = -1.8303x + 168.28$					

4.3.4 Perbandingan grafik linear spesimen uji dengan blok kalibrasi dengan probe frekuensi 500 kHz

Pada sub-bab ini akan dilakukan perbandingan hasil pengujian antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada *probe* frekuensi 500 kHz. Grafik pada Gambar 4.18 dibuat dalam bentuk 2 kordinat dimana kordinat x merupakan rata-rata ketebalan *cladding* dan kordinat y merupakan hasil pengujiannya. Persamaan grafik linear dan besarnya perbedaan hasil pengujian keduanya dapat dilihat pada Tabel 4.12.



Gambar 4.18 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frek.500 kHz

Tabel 4.12 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 500 kHz

No. Step	Blok kalibrasi		Spesimen Uji		Persentase perbedaan
	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	
1	192.0	3.50	199.6	3.63	4%
2	191.2	5.40	197.5	5.57	3%
3	190.8	6.46	196.6	6.66	3%
4	190.4	7.41	193.3	7.52	2%
5	189.4	9.75	188.5	9.70	0%
$y = -0.4068x + 193.39$					

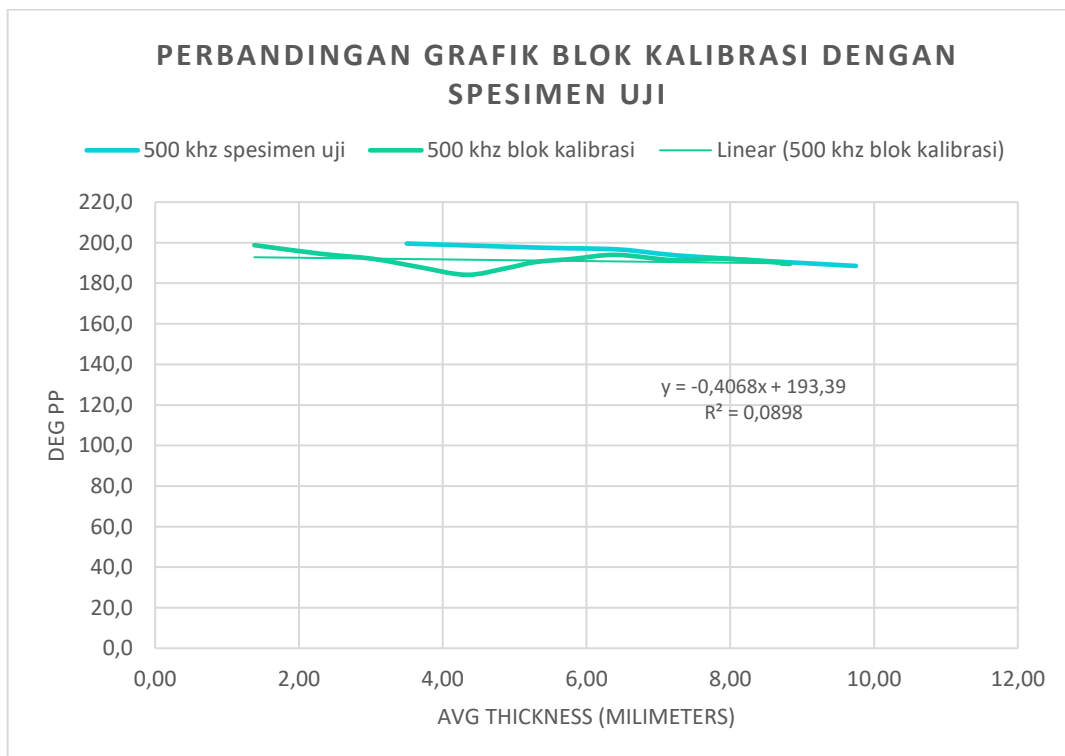
4.4 Pembahasan

Sub-bab 4.1 sampai dengan 4.2 menunjukkan hasil pengujian *eddy current* dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada berbagai varian frekuensi. Gambar 4.2 menunjukkan salah satu hasil *scanning* yang didapat dari blok kalibrasi pada frekuensi 15 kHz. Gambar 4.4 menunjukkan salah satu hasil *scanning* yang didapat dari blok kalibrasi pada frekuensi 30 kHz. Gambar 4.6 menunjukkan salah satu hasil *scanning* yang didapat dari blok kalibrasi pada frekuensi 50 kHz. Gambar 4.8 menunjukkan salah satu hasil *scanning* yang didapat dari blok kalibrasi pada frekuensi 500 kHz. Gambar 4.11 menunjukkan salah satu hasil *scanning* yang didapat dari spesimen uji pada frekuensi 15 kHz. Gambar 4.12 menunjukkan salah satu hasil *scanning* yang didapat dari spesimen uji pada frekuensi 30 kHz. Gambar 4.13 menunjukkan salah satu hasil *scanning* yang didapat dari spesimen uji pada frekuensi 50 kHz. Gambar 4.14 menunjukkan salah satu hasil *scanning* yang didapat dari spesimen uji pada frekuensi 500 kHz. Sedangkan pada Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.8 menunjukkan rekapitulasi dari hasil pengujian pada blok kalibrasi dan spesimen uji pada berbagai macam frekuensi yang dipakai dalam pengujian.

Sub-bab 4.3.1 sampai dengan 4.3.4 menunjukkan perbandingan dari hasil pengujian *eddy current* antara blok kalibrasi dengan spesimen uji pada berbagai frekuensi *probe* dalam bentuk grafik dan menunjukkan besarnya perbedaan dari kedua hasil pengujian. Gambar 4.15 menunjukkan perbandingan grafik blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frekuensi 15 kHz. Gambar 4.16 menunjukkan perbandingan grafik blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frekuensi 30 kHz. Gambar 4.17 menunjukkan perbandingan grafik blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frekuensi 50 kHz. Gambar 4.18 menunjukkan perbandingan grafik blok kalibrasi dengan spesimen uji pada frekuensi 500 kHz. Tabel 4.9 menunjukkan besarnya perbedaan dari kedua hasil pengujian pada frekuensi 15 kHz. Tabel 4.10 menunjukkan besarnya

perbedaan dari kedua hasil pengujian pada frekuensi 30 kHz. Tabel 4.11 menunjukkan besarnya perbedaan dari kedua hasil pengujian pada frekuensi 50 kHz. Tabel 4.12 menunjukkan besarnya perbedaan dari kedua hasil pengujian pada frekuensi 500 kHz.

Dari grafik linear yang telah didapat dengan membandingkan hasil pengujian yang didapat dari blok kalibrasi dan spesimen uji, grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan *cladding* yang dibaca, maka semakin mendekat grafiknya antara spesimen uji dan blok kalibrasi dengan melihat secara visual perkembangan arah grafiknya. Sebagai contoh dapat dilihat pada grafik pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Perbandingan grafik linear antara blok kalibrasi dan spesimen uji pada frek.15 kHz

Jika melihat dari grafik diatas begitu juga dengan grafik-grafik sebelumnya yang sudah tercantum pada sub-bab 4.3, hal ini menunjukkan hasil pengujian yang didapat pada blok kalibrasi dan spesimen uji semakin mendekat. Jika hasil yang didapat spesimen uji semakin mendekati hasil yang didapat pada blok kalibrasi, maka dapat dikatakan bahwa hasil yang didapat semakin presisi atau akurat.

Dengan melihat besarnya perbedaan dari hasil pengujian yang didapat antara blok kalibrasi dan spesimen uji, besarnya perbedaan tersebut pun menunjukkan hal yang sama seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 4.19 bahwa semakin bertambah ketebalan lapisan

cladding yang dibaca maka semakin presisi atau akurat hasil pengujian yang terbaca. Sebagai contoh dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perbandingan hasil pengujian dari blok kalibrasi dan spesimen uji pada frekuensi 500 kHz

No. Step	Blok kalibrasi		Spesimen Uji		Persentase perbedaan
	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	Hasil (DEG PP)	Tebal (mm)	
1	192.0	3.50	199.6	3.63	4%
2	191.2	5.40	197.5	5.57	3%
3	190.8	6.46	196.6	6.66	3%
4	190.4	7.41	193.3	7.52	2%
5	189.4	9.75	188.5	9.70	0%

Tabel 4.13 menunjukkan besarnya perbedaan hasil pengujian dari keduanya, dimana dapat dilihat pada persentase perbedaannya bahwa semakin tebal lapisan *cladding* maka semakin kecil persentase perbedaannya. Hal ini menunjukkan sama seperti yang ditunjukkan grafik pada Gambar 4.19.

Dengan melihat pada persentase perbedaan dari kedua hasil pengujian pada tiap-tiap frekuensi yang digunakan selama pengujian berlangsung, persentase perbedaan yang paling terkecil didapatkan pada *probe* dengan frekuensi sebesar 500 kHz. Persentase tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.13 diatas. Hal ini menunjukkan bahwa untuk membaca ketebalan aktual dari lapisan *cladding stainless steel*, *probe* dengan frekuensi 500 kHz merupakan *probe* yang direkomendasikan untuk melakukan pembacaan ketebalan aktual dari lapisan *cladding stainless steel*. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.15 sampai 4.18 juga terlihat bahwa pada *step* 4 memiliki nilai akurasi pembacaan yang paling optimum pada masing-masing variasi frekuensi *probe* yang digunakan yaitu memiliki rata-rata ketebalan *cladding* sebesar 7,41 mm, dimana dari tebal *cladding* yang didapat berdasarkan Tabel 4.13 yaitu sebesar 7.52 mm atau beda 2% dari tebal yang seharusnya yaitu 7,41 mm.

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan pada *Eddy Current Testing* yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar ketebalan *cladding* yang terbaca oleh *probe* akan semakin besar akurasi pembacaan dari alat pengujian *eddy current* yang ditunjukkan melalui grafik perbandingan antara hasil pengujian blok kalibrasi dan hasil pengujian spesimen uji.
2. Dengan membandingkan hasil pengujian pada blok kalibrasi dan spesimen uji yang didapat dari pengujian *Eddy Current*, ketidakakuratan pada masing-masing frekuensi adalah sebagai berikut:
 - Untuk frekuensi 15 kHz, ketidakakuratan yang didapat dengan membandingkan blok kalibrasi dan spesimen uji yaitu sebesar 16%.
 - Untuk frekuensi 30 kHz, ketidakakuratan yang didapat dengan membandingkan blok kalibrasi dan spesimen uji yaitu sebesar 12%.
 - Untuk frekuensi 50 kHz, ketidakakuratan yang didapat dengan membandingkan blok kalibrasi dan spesimen uji yaitu sebesar 11%.
 - Untuk frekuensi 500 kHz, ketidakakuratan yang didapat dengan membandingkan blok kalibrasi dan spesimen uji yaitu sebesar 3%.

Dengan hasil tersebut, semakin kecil frekuensi pada *probe* yang digunakan untuk pengujian *eddy current* akan semakin tinggi akurasi pembacaannya dimana persentase perbandingan yang paling terkecil didapat pada *probe* dengan frekuensi 500 kHz.

3. Akurasi pembacaan step kalibrasi dan spesimen uji oleh *probe* pada masing-masing variasi frekuensi dengan nilai persentase yang paling optimum didapatkan pada step 4 yaitu pada 7,41 mm.
4. Adanya indikasi diskontinuitas pada kedua objek pengujian akan mempengaruhi hasil akurasi dari alat pengujian *eddy current*.

5.2 Saran

Penelitian ini menggunakan metode pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan terlebih dahulu pengujian Radiografi pada blok kalibrasi dan spesimen uji sebelum pengujian *eddy current* untuk mendapatkan gambar bayangan pada sambungan material Baja Karbon A36 dengan *Stainless Steel* agar dapat mendapatkan gambaran adanya indikasi diskontinuitas pada blok kalibrasi dan spesimen uji.

DAFTAR PUSTAKA

- ASNT. (2007). *ASNT Level III Study Guide Electromagnetic Testing Second Edition*. Columbus: The American Society for Nondestructive Testing, Inc.
- Cox, J. (1997). *Classroom Training Handbook, Nondestructive Testing, Eddy Current*. South Hamburg: PH Diversified, Inc.
- Hagemaier, D. (2002). *Fundamentals of Eddy Current Testing*. United States of America: The American Society for Nondestructive Testing Inc.
- Lancaster, J. (1999). *Metallurgy of Welding Sixth Edition*. Cambridge: Abington Publishing.
- Mix, P. E. (2005). *Intoduction to Nondestrcutive Testing*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Navy, R. (2019). *Analisis Perbandingan Sensivitas Pendeteksian Terhadap Retak Pada Material Aluminium 5083 Dengan Variasi Frekuensi Pada Sambungan Las Di Pondasi Mesin Kapal Dengan Metode Eddy Current Testing (ECT)*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapalan.
- Nunes, R. M. (1989). *ASM Handbook - Nondestructive Evaluation and Quality Control*. United States: ASM International.
- Sadek, H. (2006). *Electromagnetic Testing-Classroom Training Book*. Columbus: ASNT.
- Wirjosumarto, H., & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Zamil. (1998). *Manual Aplikasi Desain & Fabrikasi Material Stainless Steel*. Surabaya.

LAMPIRAN

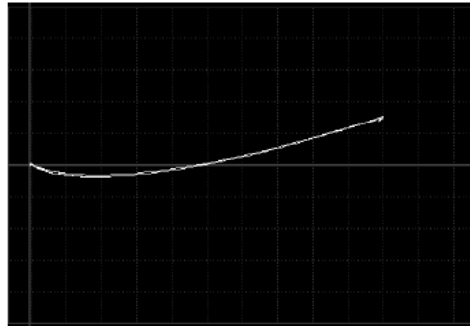
Lampiran A Hasil Pengujian Blok Kalibrasi
Lampiran B Hasil Pengujian Spesimen Uji

LAMPIRAN A
HASIL PENGUJIAN BLOK KALIBRASI

Blok Kalibrasi Frekuensi 15 kHz

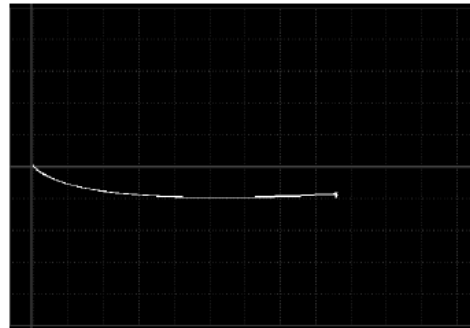
- Blok Kalibrasi Step 1 Frekuensi 15 khz
 - Point 1

°PP 171.6



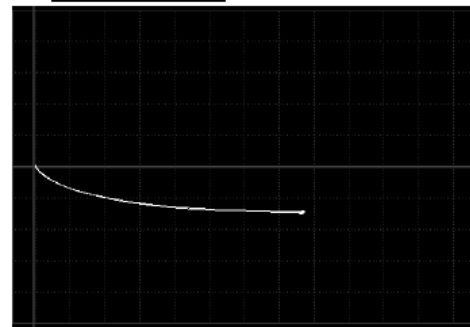
- Point 2

°PP 186.3



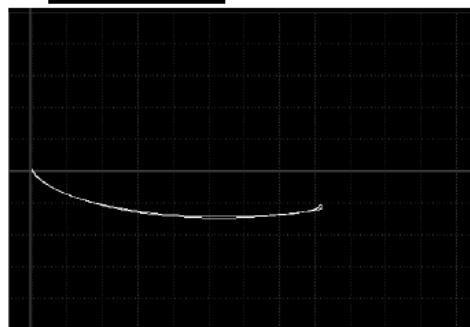
- Point 3

°PP 190.5



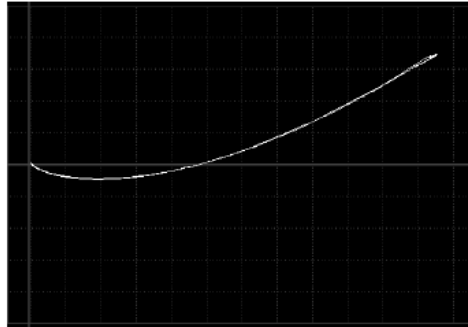
- Point 4

°PP 187.1



- Point 5

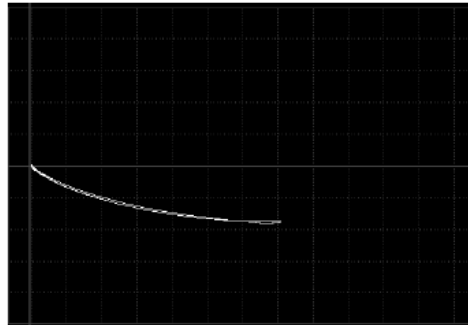
°DP 163.4



- Blok Kalibrasi Step 2 Frekuensi 15 khz

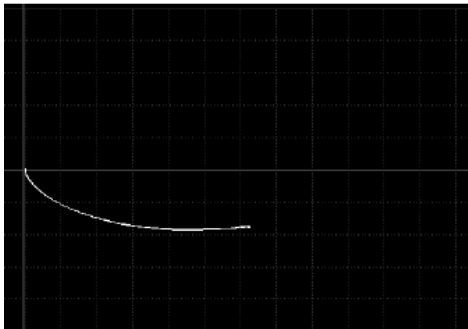
- Point 1

°DP 194.8



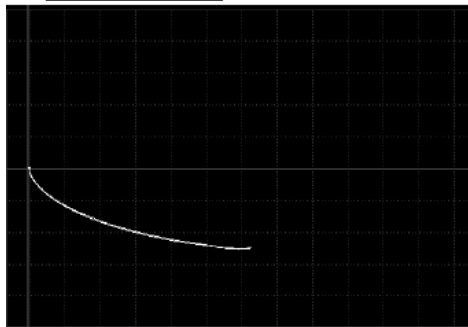
- Point 2

°DP 195.0



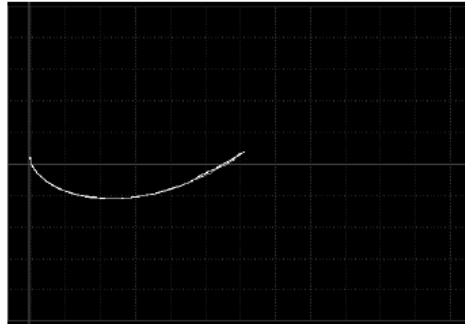
- Point 3

°DP 199.9



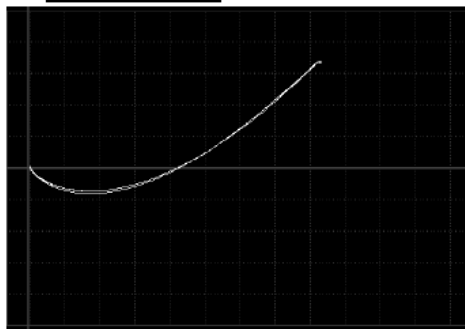
- Point 4

°PP 176.7



- Point 5

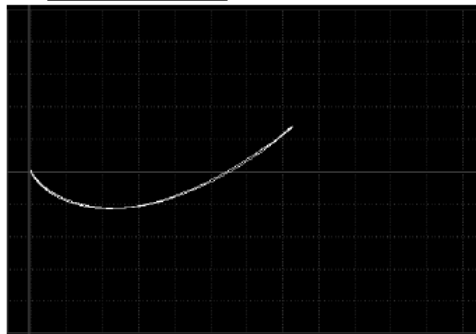
°PP 158.2



- Blok Kalibrasi Step 3 Frekuensi 15 khz

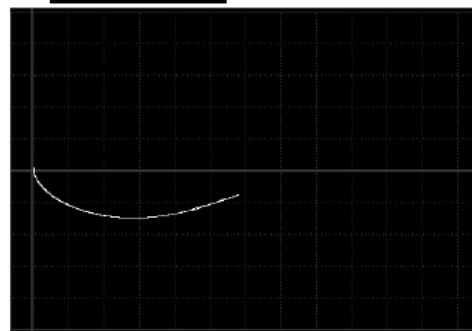
- Point 1

°PP 169.5



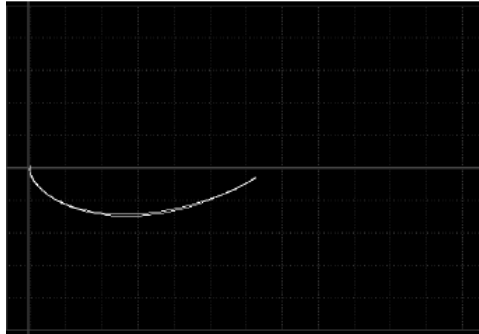
- Point 2

°PP 187.8



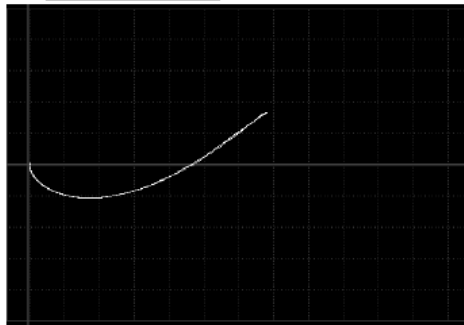
- Point 3

"PP 181.0



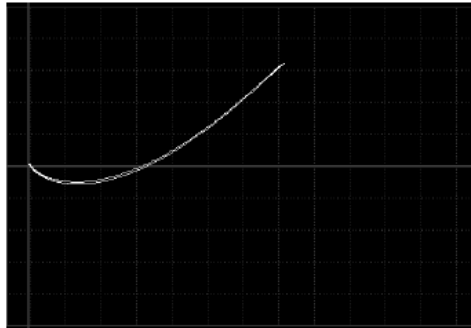
- Point 4

"PP 166.5



- Point 5

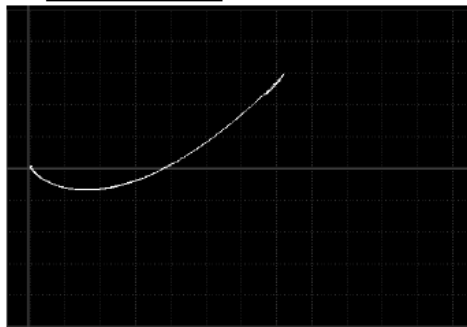
"PP 156.1



- Blok Kalibrasi Step 4 Frekuensi 15 khz

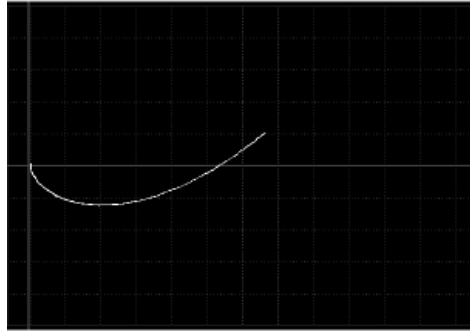
- Point 1

"PP 157.9



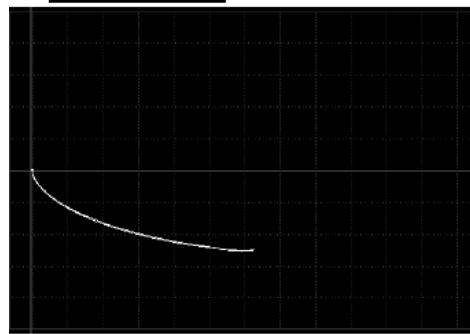
- Point 2

°PP 171.4



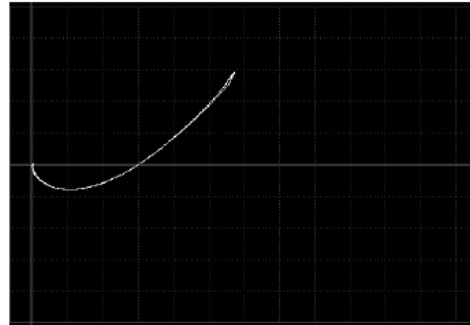
- Point 3

°PP 199.9



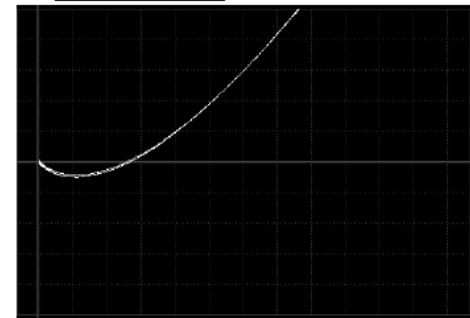
- Point 4

°PP 153.4



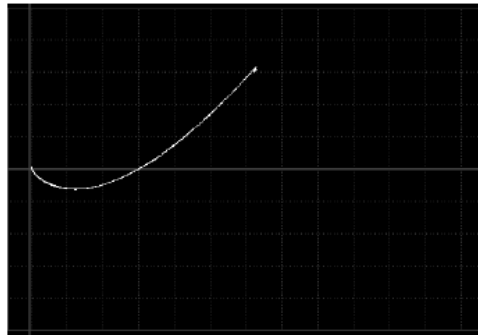
- Point 5

°PP 147.2



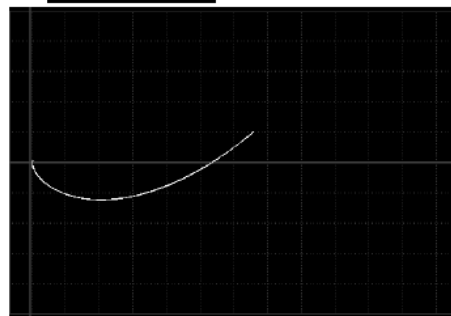
- Blok Kalibrasi Step 5 Frekuensi 15 khz
 - Point 1

°PP 153.6



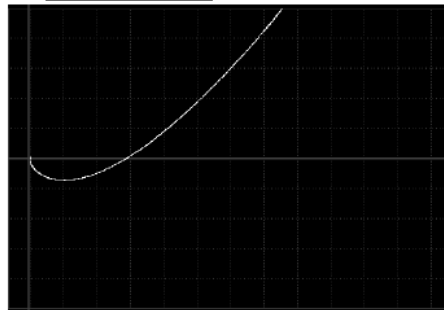
- Point 2

°PP 171.6



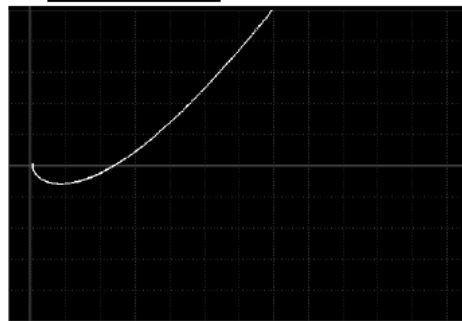
- Point 3

°PP 146.8



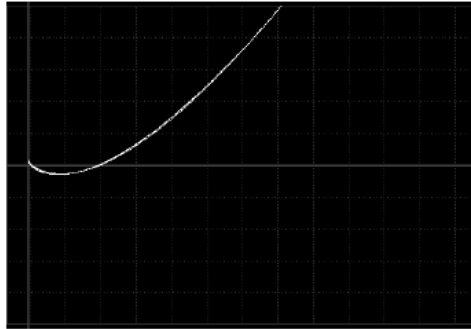
- Point 4

°PP 147.7



- Point 5

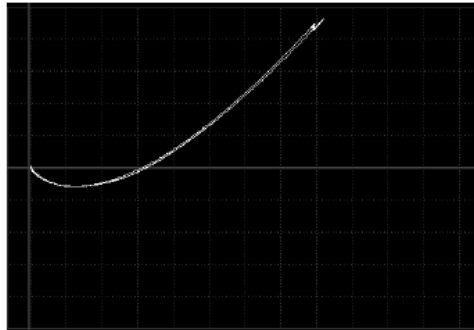
"PP 147.9



- Blok Kalibrasi Step 6 Frekuensi 15 khz

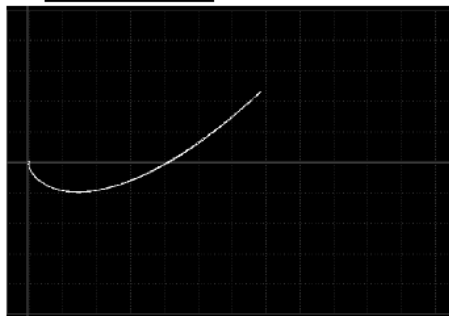
- Point 1

"PP 150.8



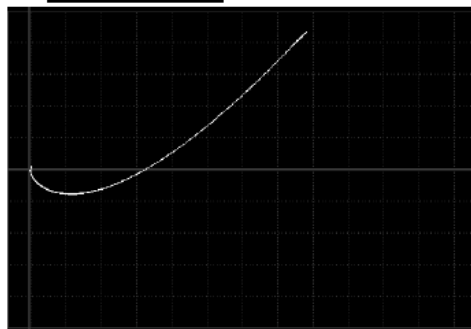
- Point 2

"PP 161.7



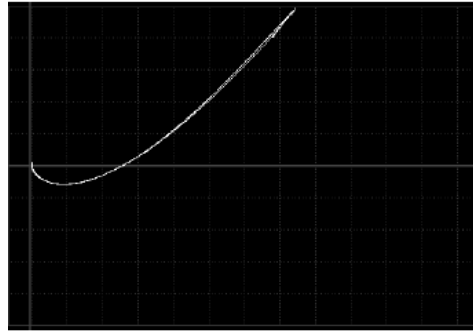
- Point 3

"PP 151.2



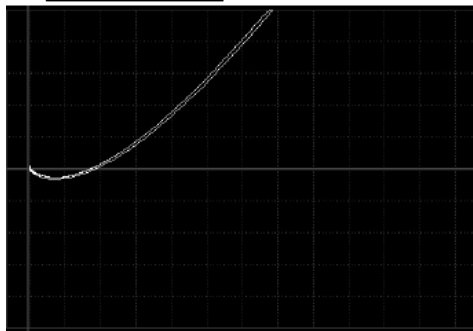
- Point 4

"PP 146.7



- Point 5

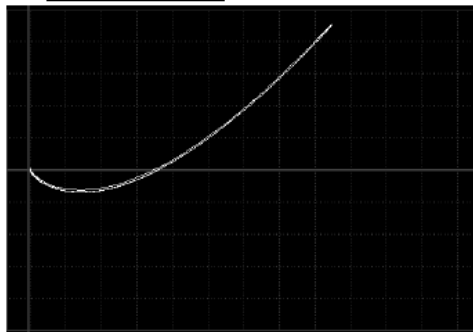
"PP 149.5



- Blok Kalibrasi Step 7 Frekuensi 15 khz

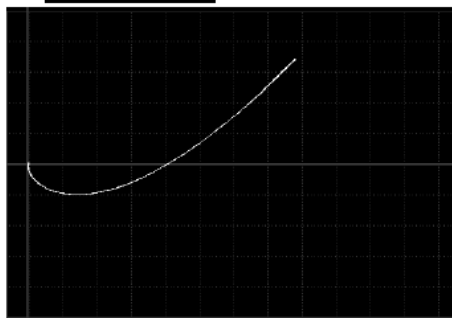
- Point 1

"PP 152.1



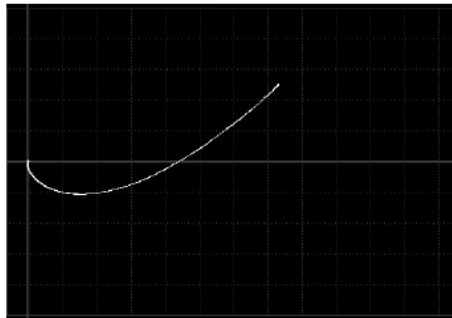
- Point 2

"PP 156.6



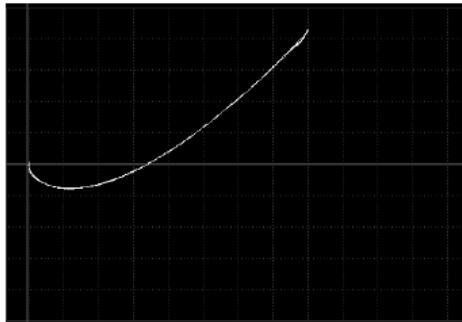
- Point 3

°PP 161.3



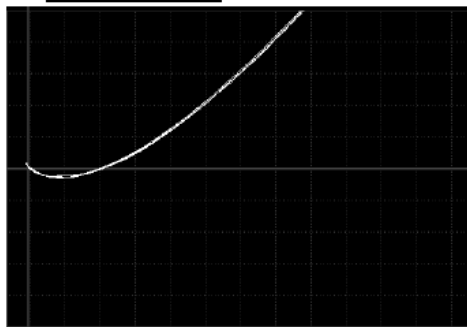
- Point 4

°PP 152.1



- Point 5

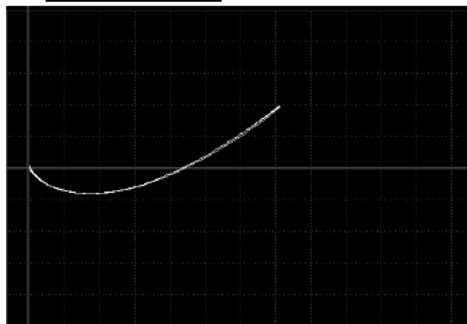
°PP 149.0



- Blok Kalibrasi Step 8 Frekuensi 15 khz

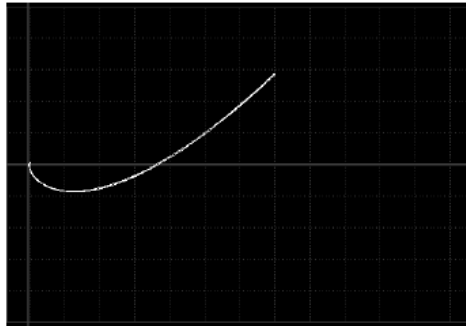
- Point 1

°PP 164.9



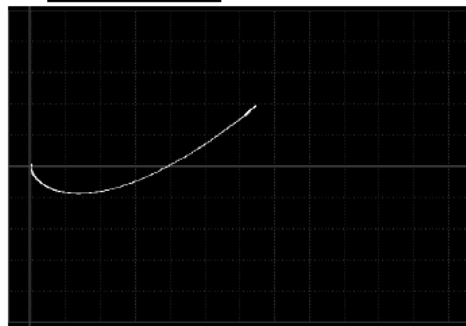
- Point 2

°PP 158.1



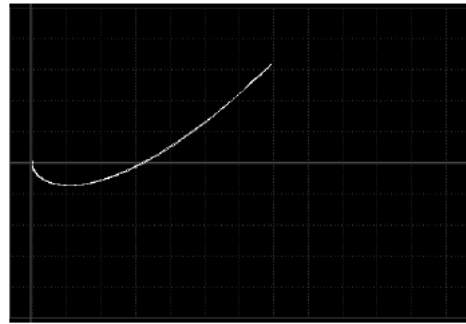
- Point 3

°PP 163.6



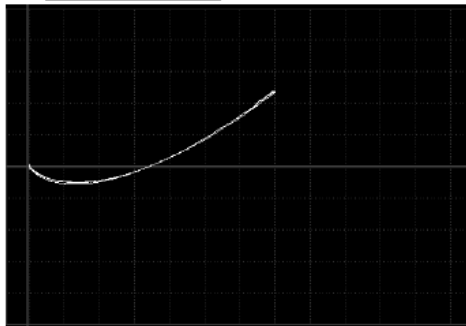
- Point 4

°PP 155.7



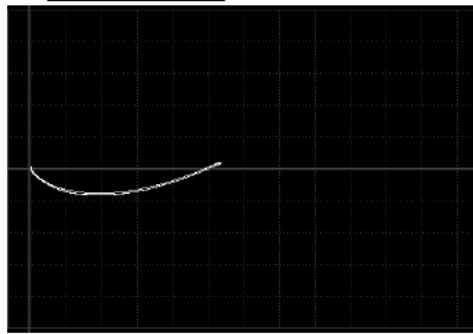
- Point 5

°PP 161.6



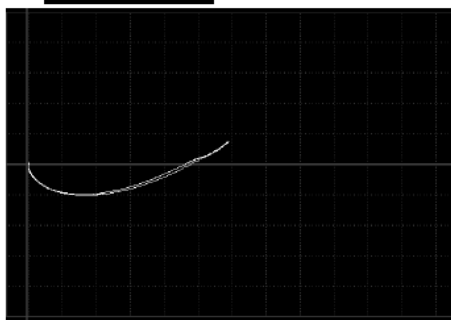
- Blok Kalibrasi Step 9 Frekuensi 15 khz
 - Point 1

°pp 178.4



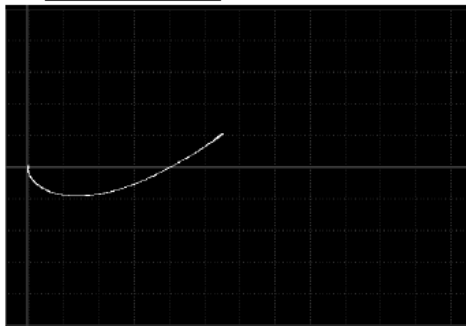
- Point 2

°pp 173.2



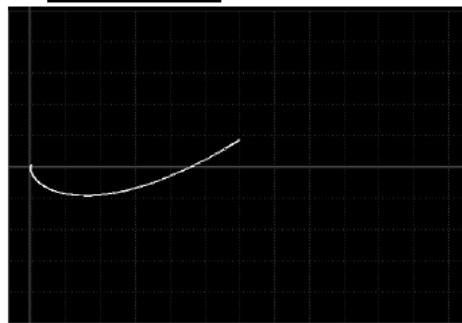
- Point 3

°pp 169.6



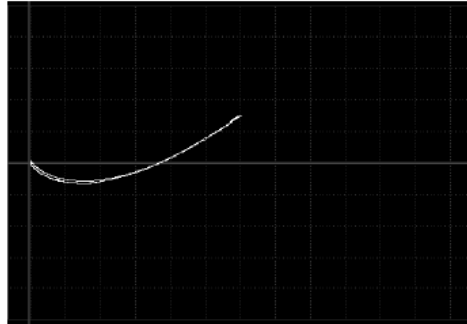
- Point 4

°pp 172.2



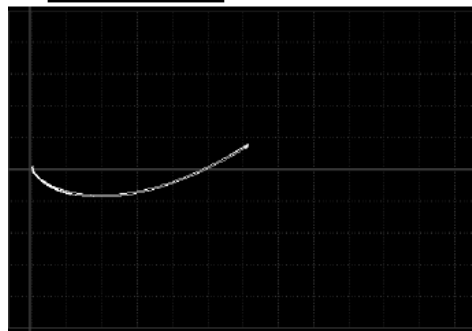
- Point 5

"DP 166.3



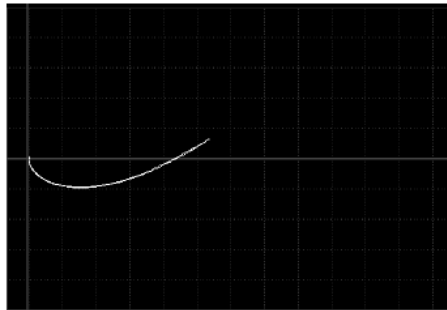
- Blok Kalibrasi Step 10 Frekuensi 15 khz
- Point 1

"DP 173.0



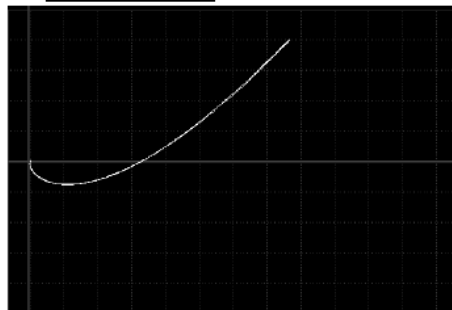
- Point 2

"DP 173.5



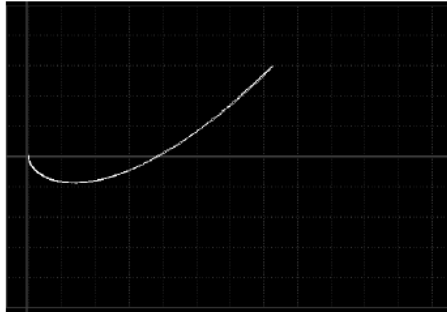
- Point 3

"DP 152.6



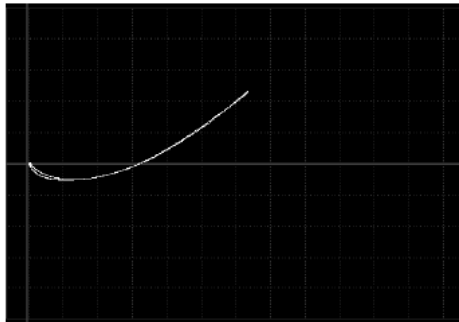
- Point 4

°PP 157.9



- Point 5

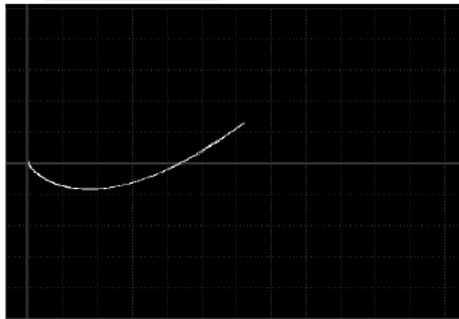
°PP 160.5



- Blok Kalibrasi Step 11 Frekuensi 15 khz

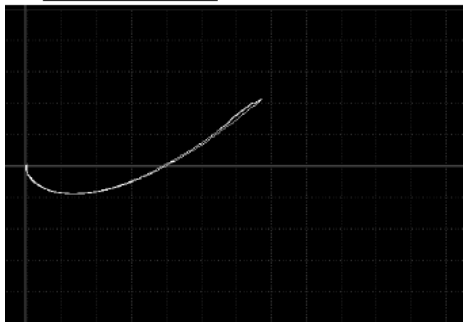
- Point 1

°PP 168.6



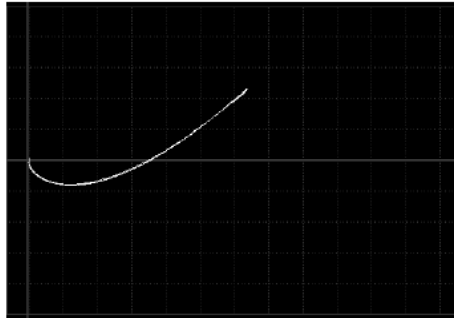
- Point 2

°PP 162.7



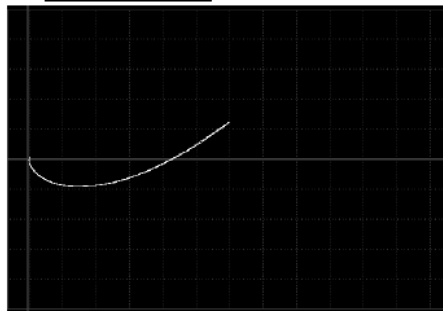
- Point 3

"DP 160.3



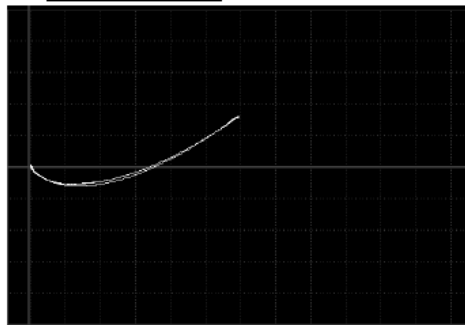
- Point 4

"DP 168.9



- Point 5

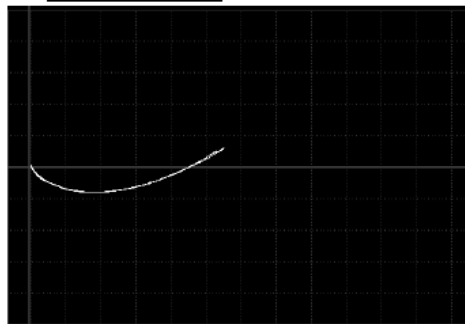
"DP 165.4



- Blok Kalibrasi Step 12 Frekuensi 15 khz

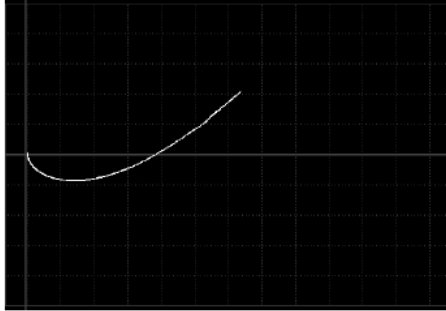
- Point 1

"DP 174.1



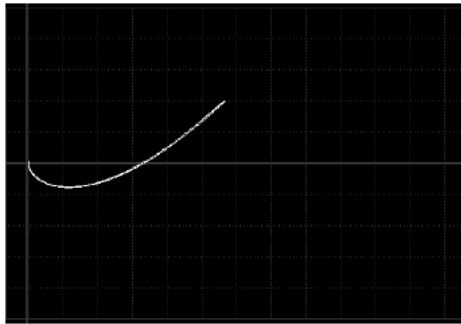
- Point 2

°DP 162.4



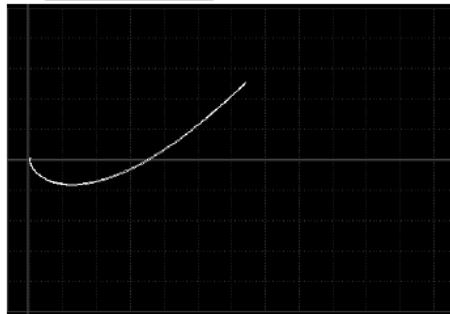
- Point 3

°DP 161.1



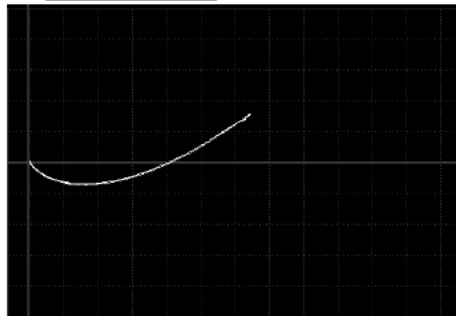
- Point 4

°DP 158.7



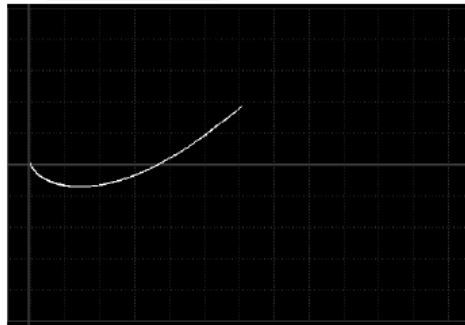
- Point 5

°DP 166.5



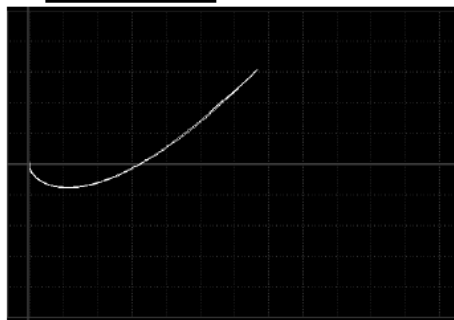
- Blok Kalibrasi Step 13 Frekuensi 15 khz
 - Point 1

°PP 163.2



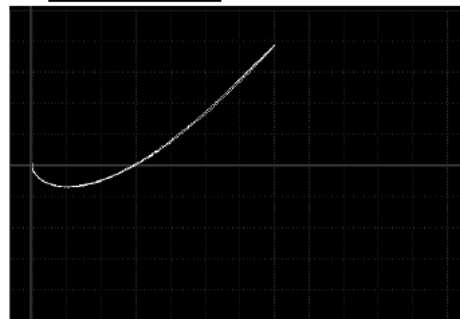
- Point 2

°PP 155.5



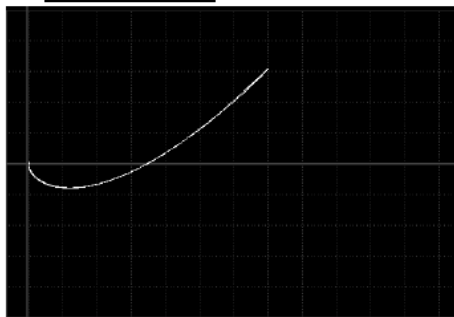
- Point 3

°PP 151.4



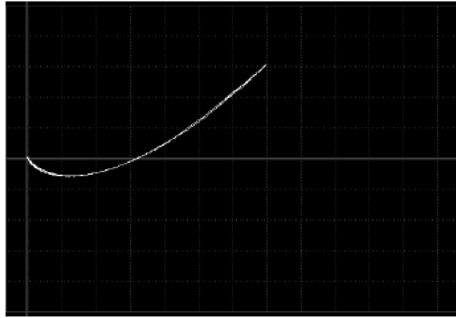
- Point 4

°PP 156.4



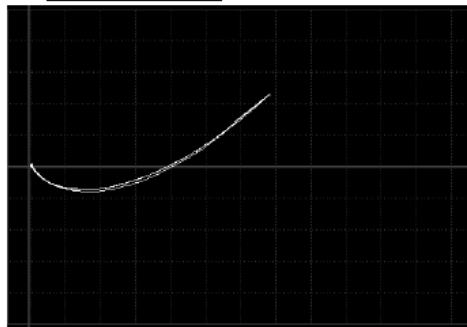
- Point 5

°PP 156.6



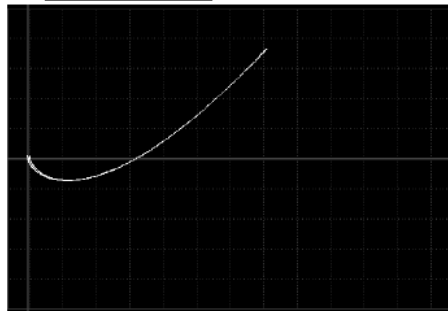
- Blok Kalibrasi Step 14 Frekuensi 15 khz
- Point 1

°PP 161.7



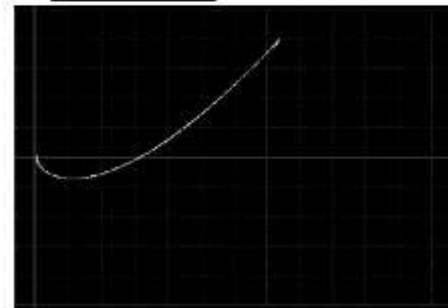
- Point 2

°PP 153.0



- Point 3

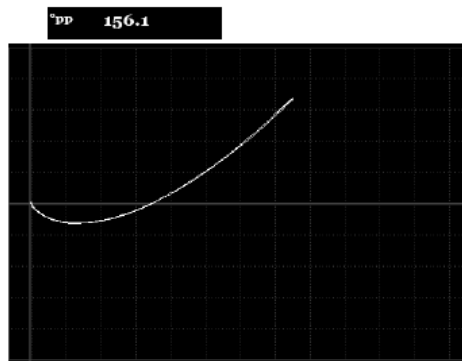
°PP 153.0



- Point 4

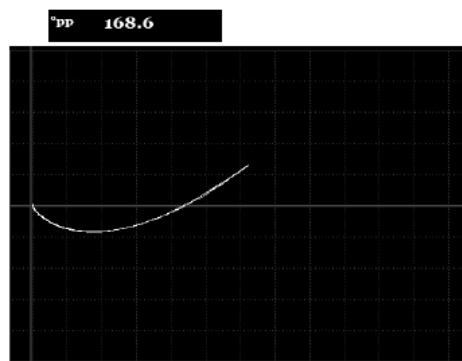


- Point 5

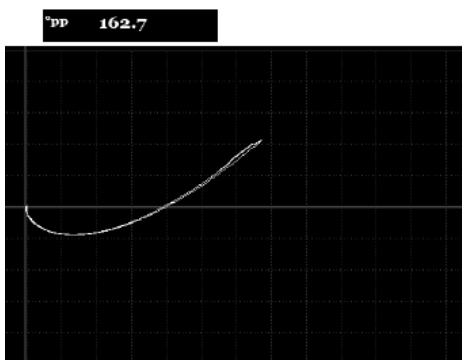


- Blok Kalibrasi Step 15 Frekuensi 15 khz

- Point 1

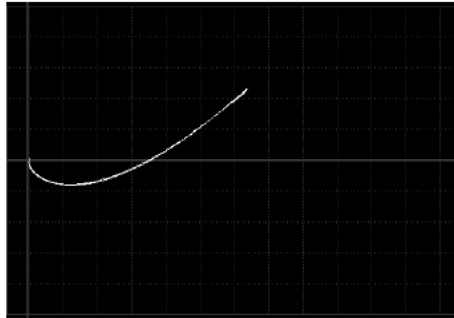


- Point 2



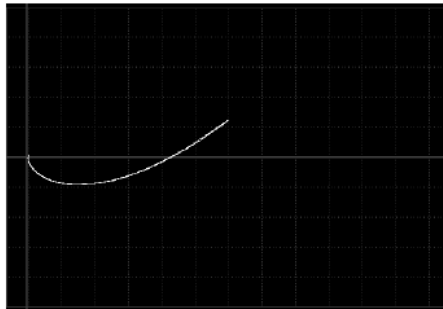
- Point 3

DP 160.3



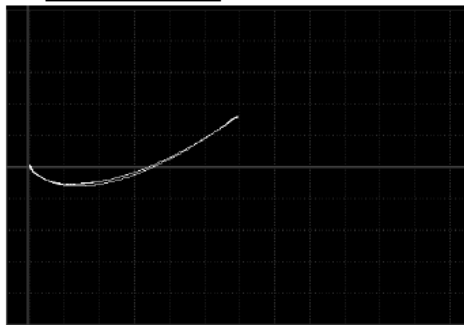
- Point 4

DP 168.9



- Point 5

DP 165.4

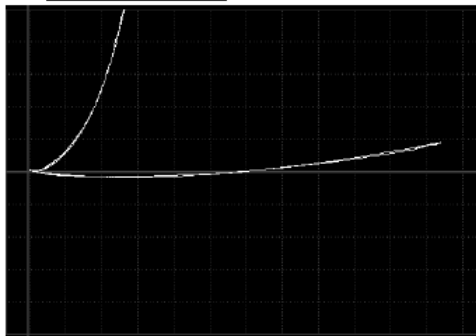


Blok Kalibrasi Frekuensi 30 kHz

- Blok Kalibrasi Step 1 Frekuensi 30 khz

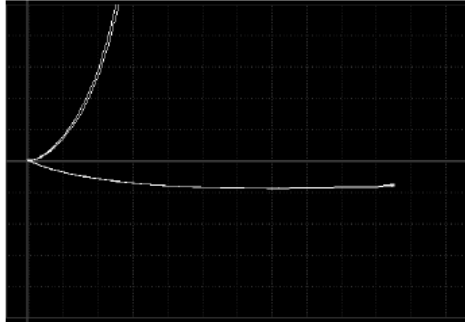
- Point 1

APP 11.5



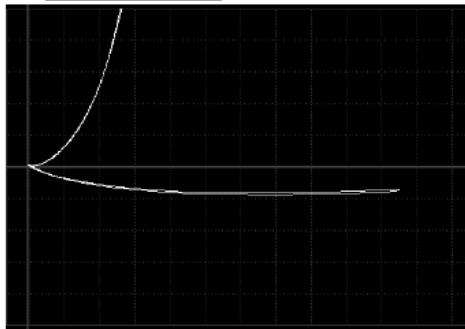
- Point 2

APP 10.6



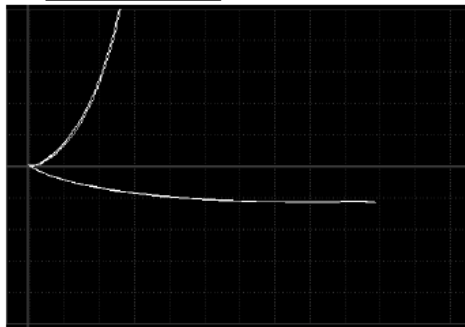
- Point 3

APP 10.5



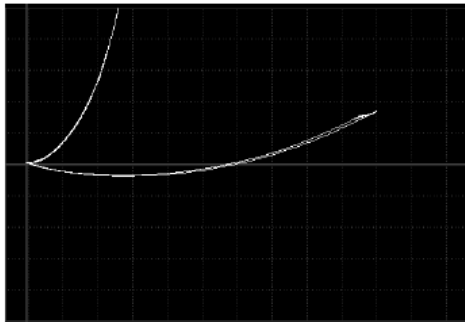
- Point 4

APP 10.0



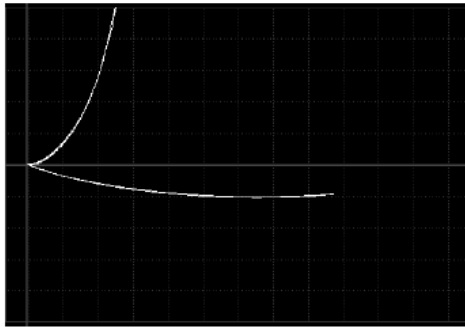
- Point 5

APP 10.2



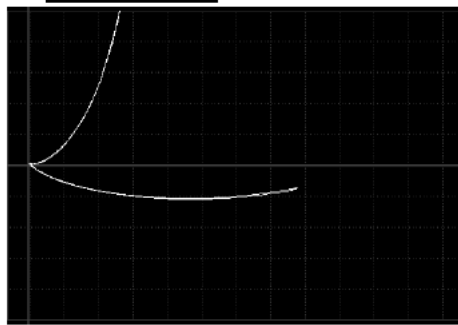
- Blok Kalibrasi Step 2 Frekuensi 30 khz
 - Point 1

APP 8.8



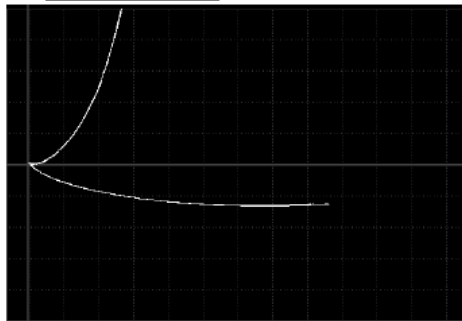
- Point 2

APP 7.8



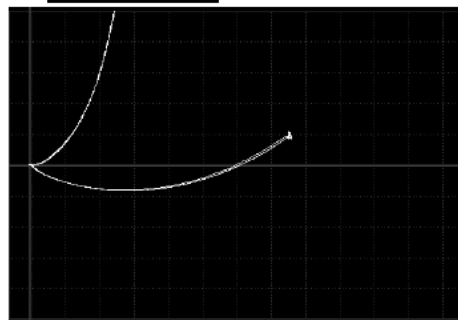
- Point 3

APP 8.7



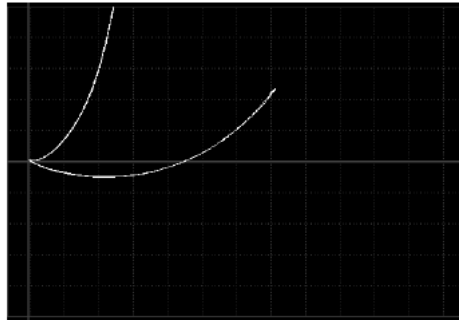
- Point 4

APP 7.7



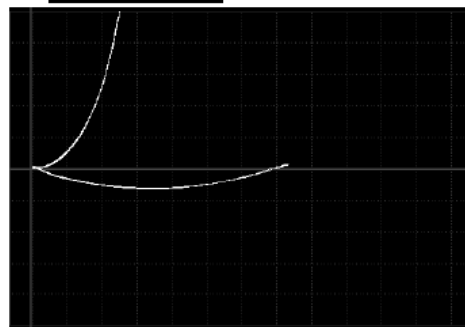
- Point 5

APP 7.5



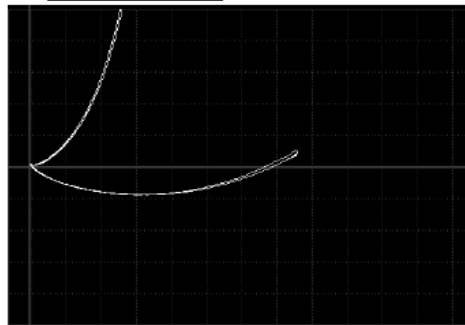
- Blok Kalibrasi Step 3 Frekuensi 30 khz
- Point 1

APP 7.4



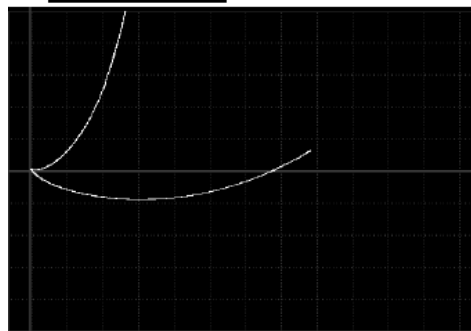
- Point 2

APP 7.8



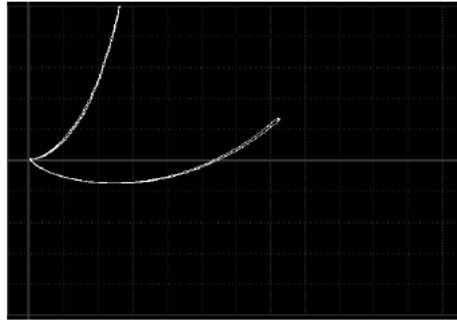
- Point 3

APP 8.2



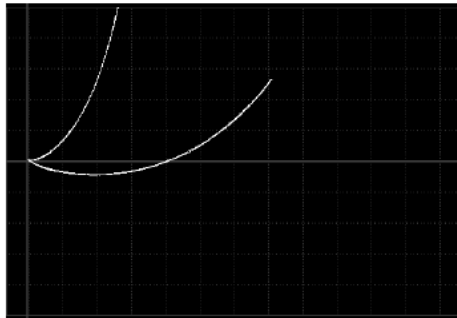
- Point 4

APP 8.3



- Point 5

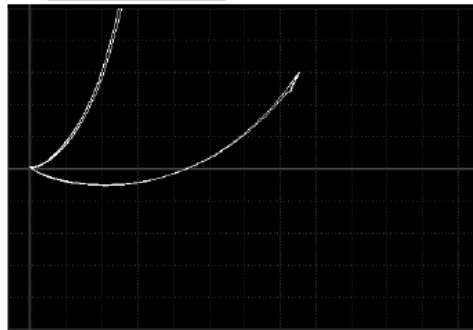
APP 8.1



- Blok Kalibrasi Step 4 Frekuensi 30 khz

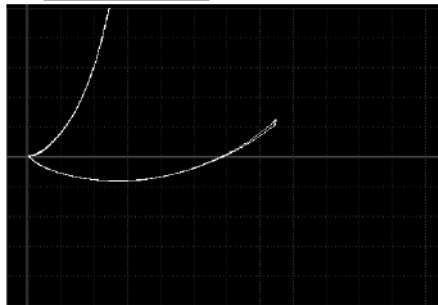
- Point 1

APP 8.1



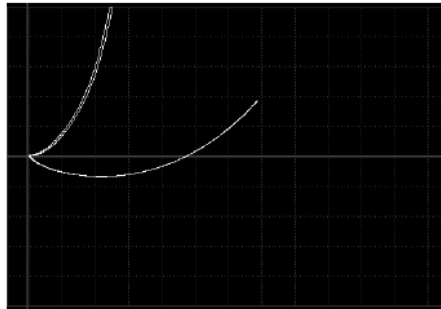
- Point 2

APP 7.7



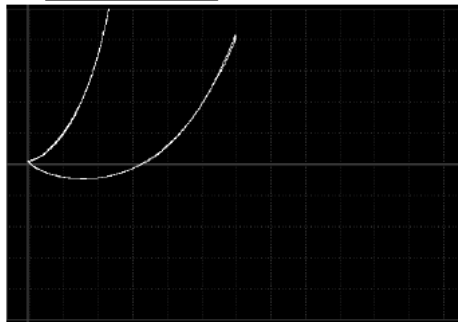
- Point 3

APP 7.1



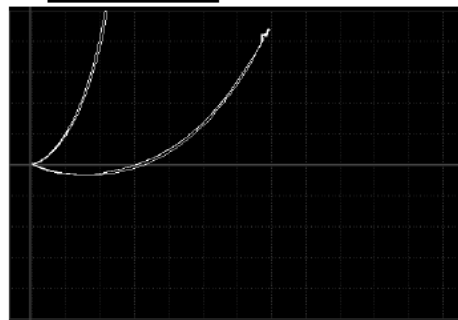
- Point 4

APP 7.3



- Point 5

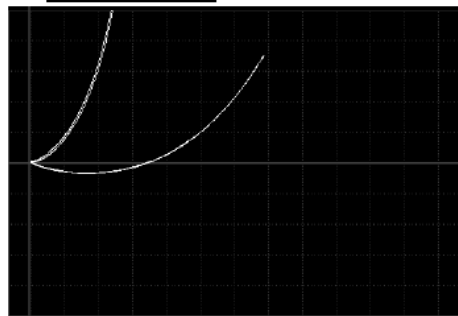
APP 8.2



- Blok Kalibrasi Step 5 Frekuensi 30 khz

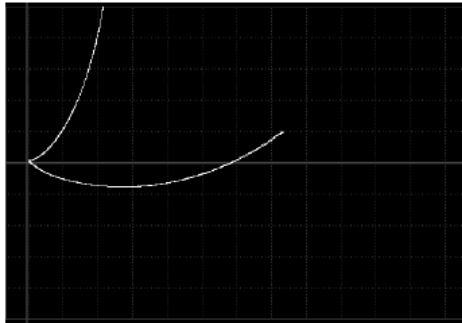
- Point 1

APP 7.7



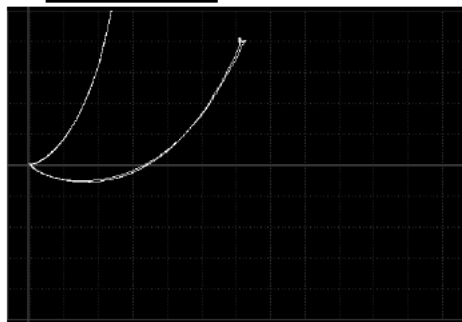
- Point 2

APP 7.4



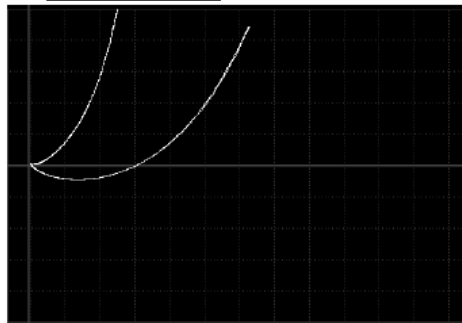
- Point 3

APP 7.5



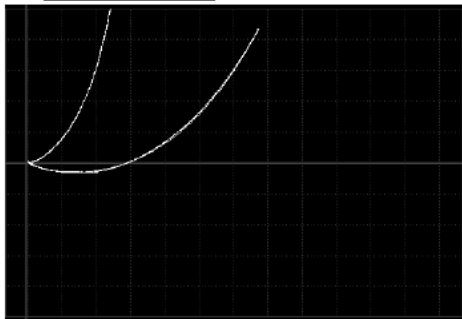
- Point 4

APP 7.7



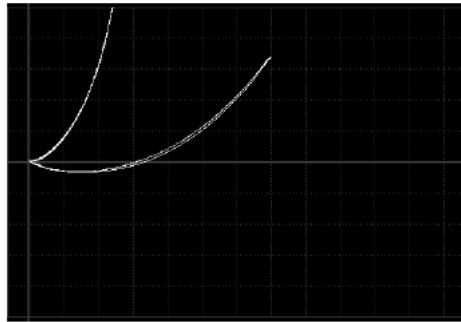
- Point 5

APP 8.0



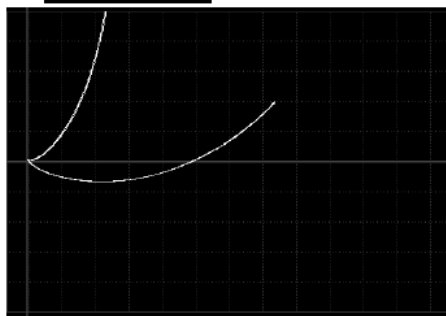
- Blok Kalibrasi Step 6 Frekuensi 30 khz
 - Point 1

APP 7.8



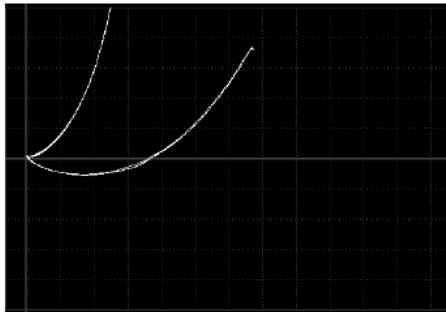
- Point 2

APP 7.6



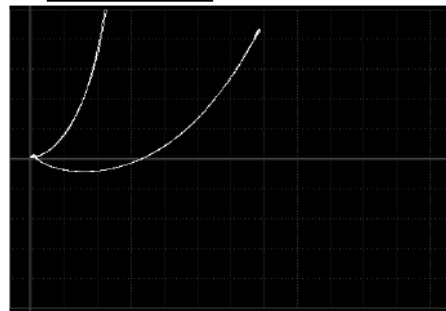
- Point 3

APP 7.7



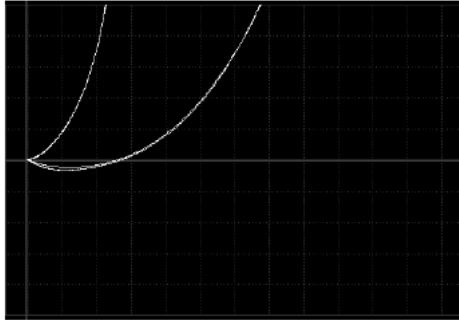
- Point 4

APP 8.1



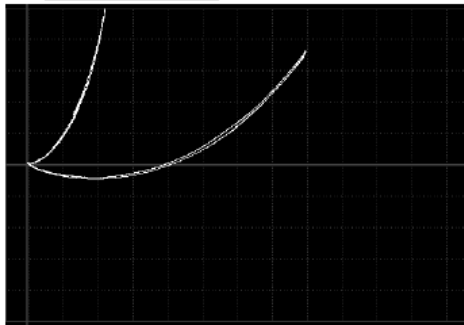
- Point 5

APP 8.6



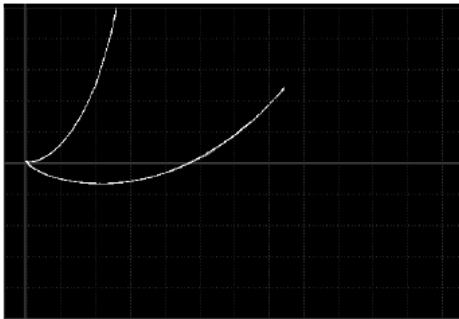
- Blok Kalibrasi Step 7 Frekuensi 30 khz
 - Point 1

APP 8.7



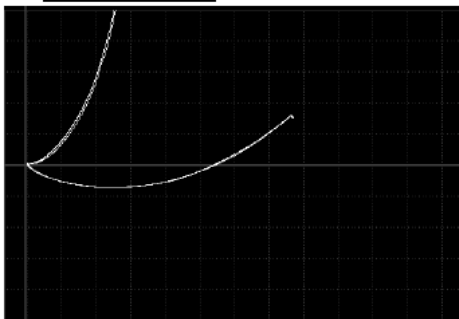
- Point 2

APP 7.8



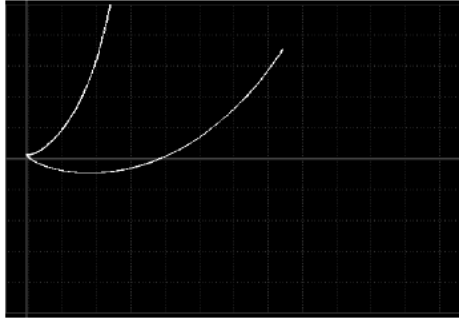
- Point 3

APP 7.8



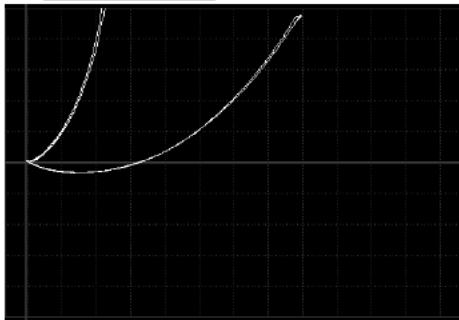
- Point 4

APP 8.2



- Point 5

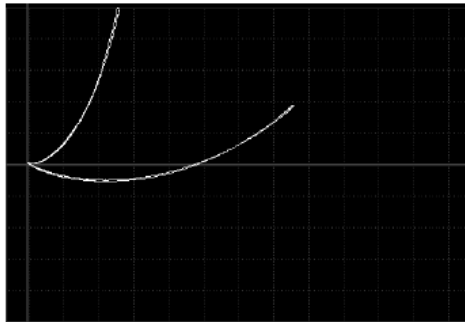
APP 9.3



- Blok Kalibrasi Step 8 Frekuensi 30 khz

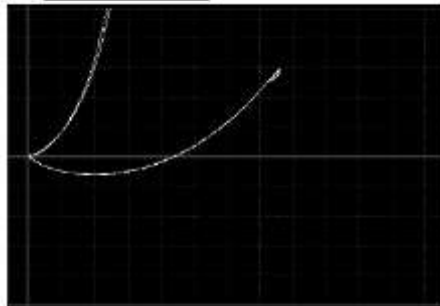
- Point 1

APP 7.8



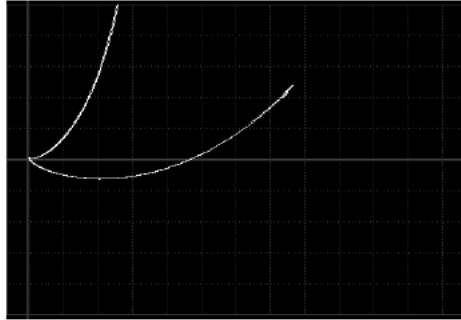
- Point 2

APP 8.2



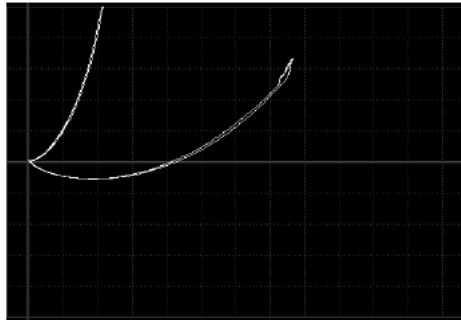
- Point 3

APP 8.1



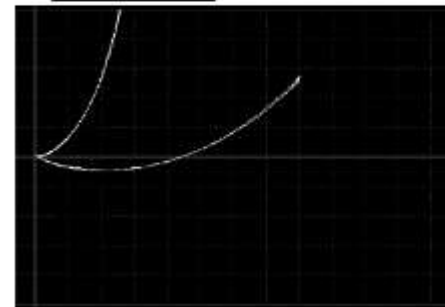
- Point 4

APP 8.4



- Point 5

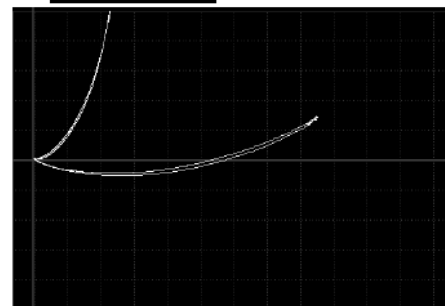
APP 8.5



- Blok Kalibrasi Step 9 Frekuensi 30 khz

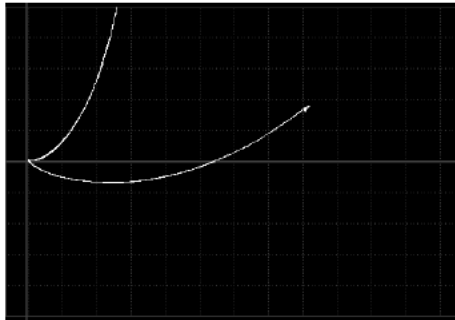
- Point 1

APP 8.7



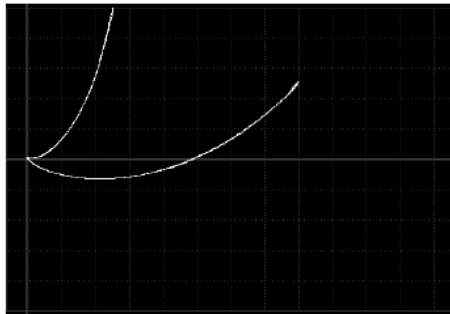
- Point 2

APP 8.4



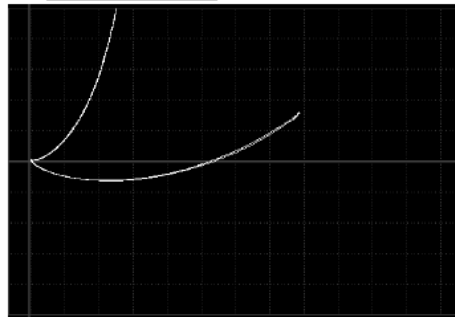
- Point 3

APP 8.4



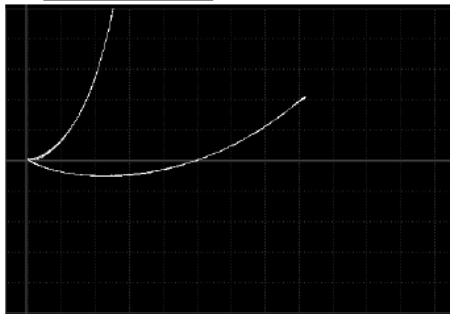
- Point 4

APP 8.0



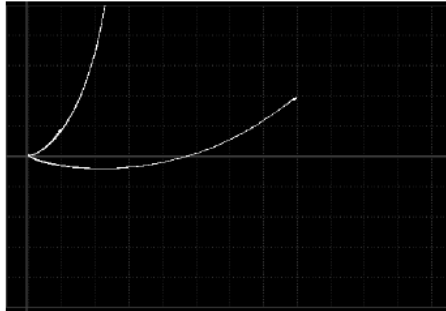
- Point 5

APP 8.5



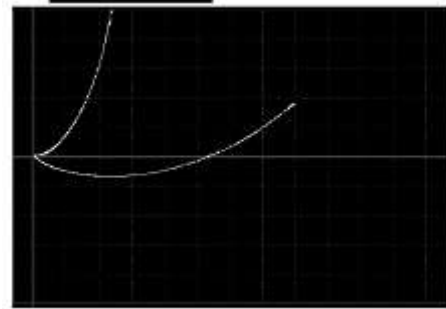
- Blok Kalibrasi Step 10 Frekuensi 30 khz
 - Point 1

APP 8.2



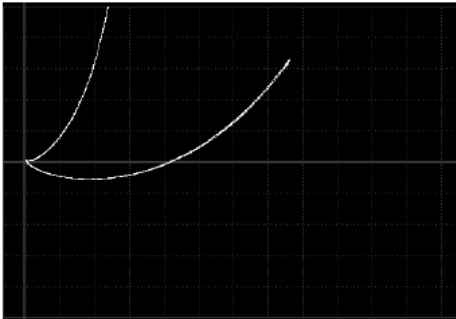
- Point 2

APP 8.2



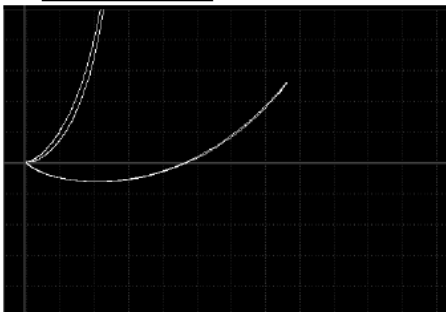
- Point 3

APP 8.3

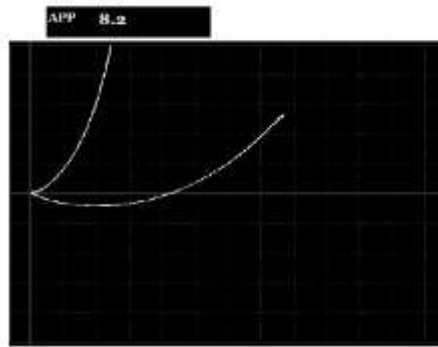


- Point 4

APP 8.1

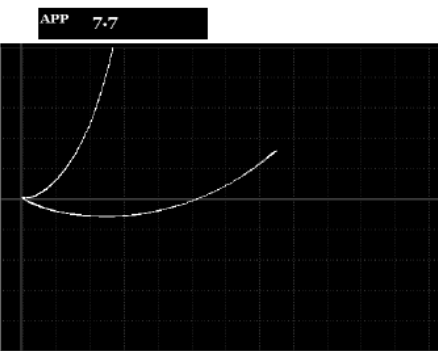


- Point 5

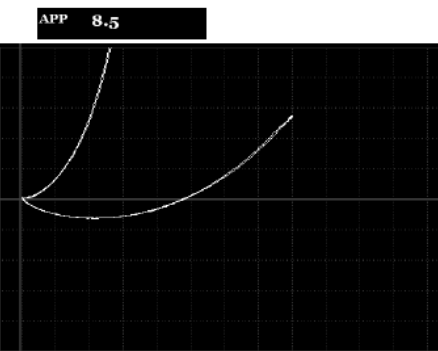


- Blok Kalibrasi Step 11 Frekuensi 30 khz

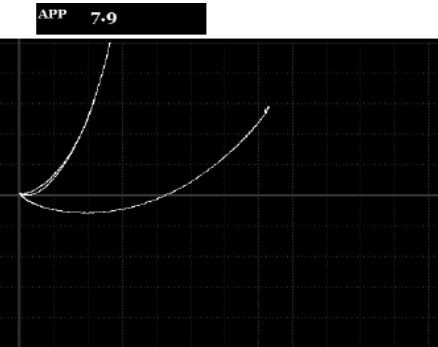
- Point 1



- Point 2

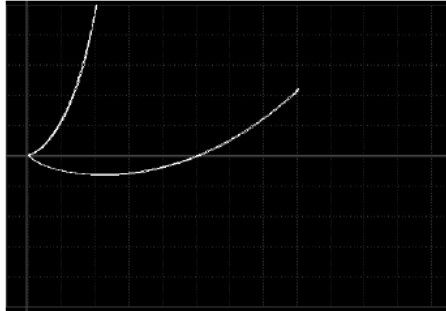


- Point 3



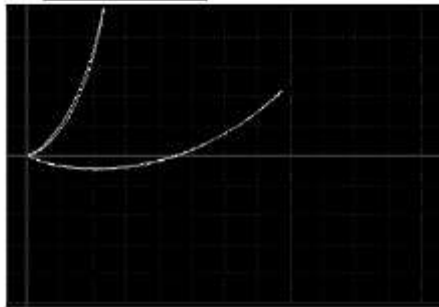
- Point 4

APP 8.4



- Point 5

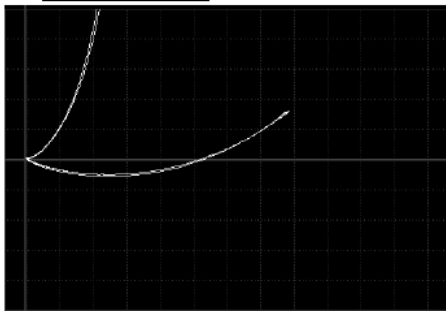
APP 8.4



- Blok Kalibrasi Step 12 Frekuensi 30 khz

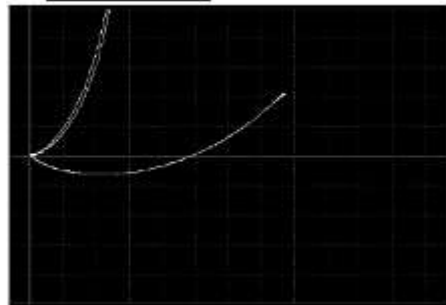
- Point 1

APP 8.0



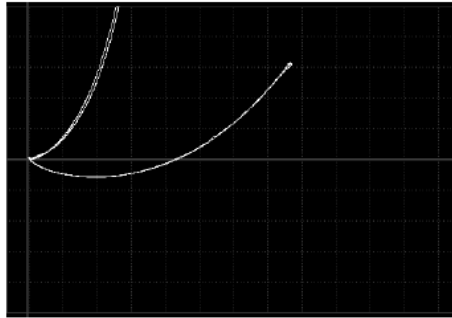
- Point 2

APP 8.0



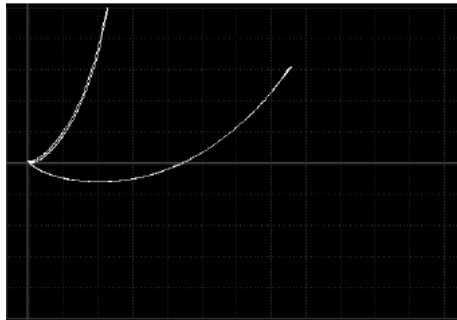
- Point 3

APP 8.3



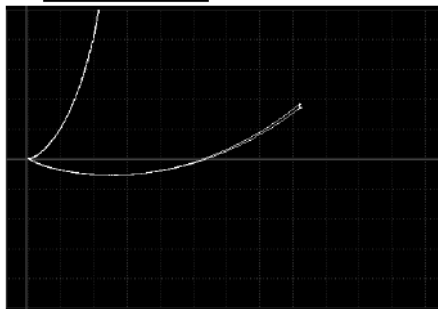
- Point 4

APP 8.2



- Point 5

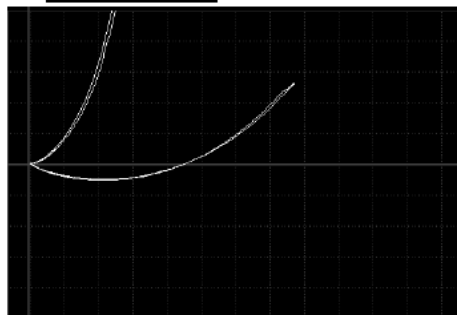
APP 8.5



- Blok Kalibrasi Step 13 Frekuensi 30 khz

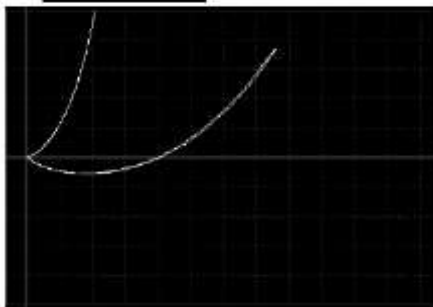
- Point 1

APP 8.1



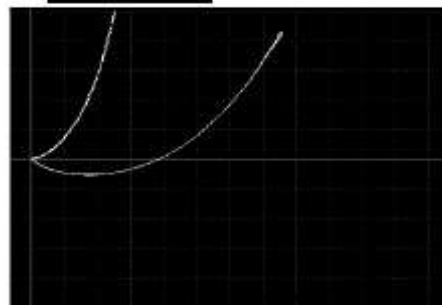
- Point 2

APP 8.5



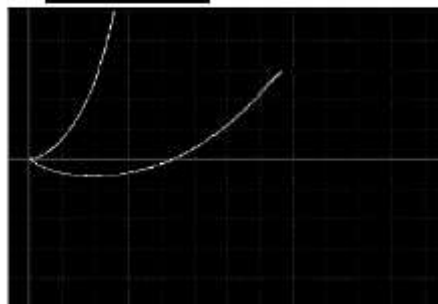
- Point 3

APP 8.7



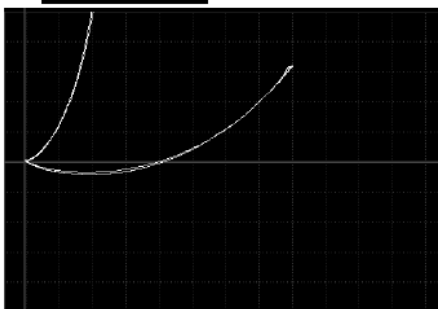
- Point 4

APP 8.2



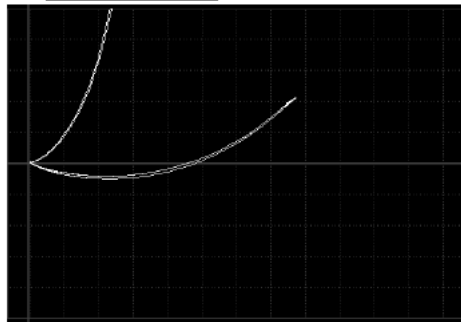
- Point 5

APP 8.6



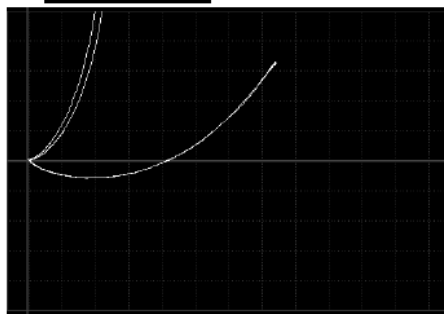
- Blok Kalibrasi Step 14 Frekuensi 30 khz
 - Point 1

APP 8.0



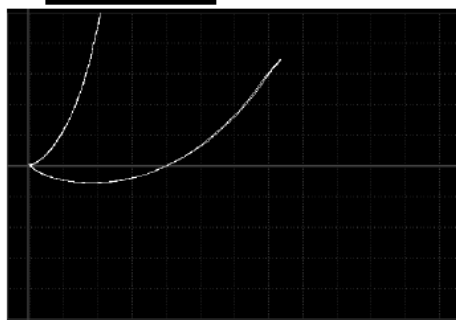
- Point 2

APP 8.1



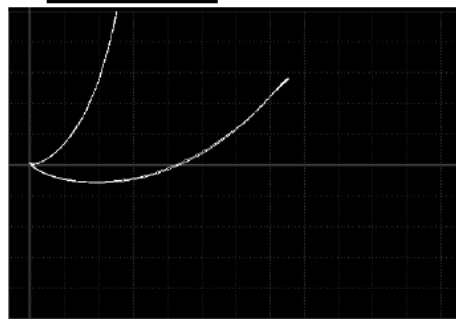
- Point 3

APP 8.1



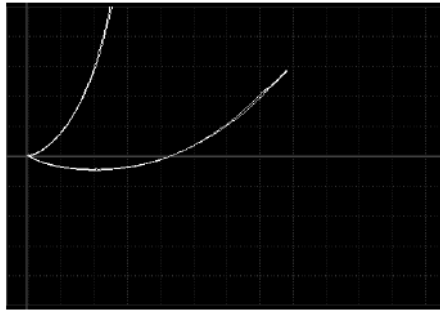
- Point 4

APP 8.1



- Point 5

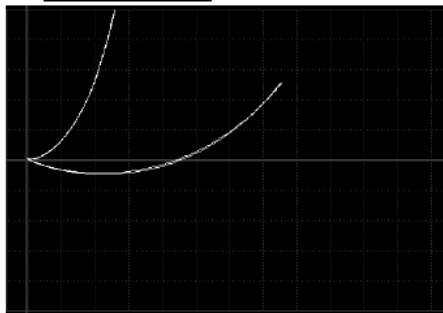
APP 8.3



- Blok Kalibrasi Step 15 Frekuensi 30 khz

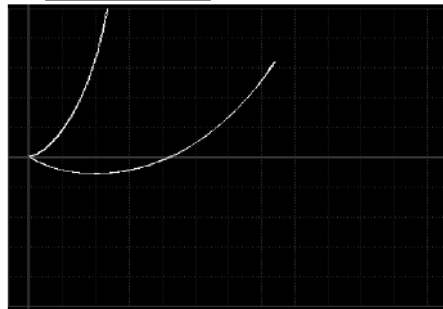
- Point 1

APP 8.0



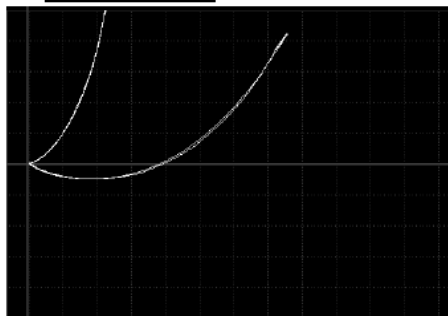
- Point 2

APP 8.1



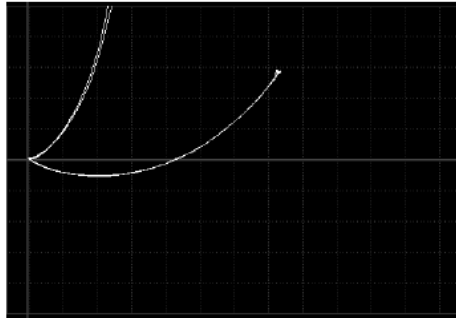
- Point 3

APP 8.7



- Point 4

APP 7.9



- Point 5

APP 8.2

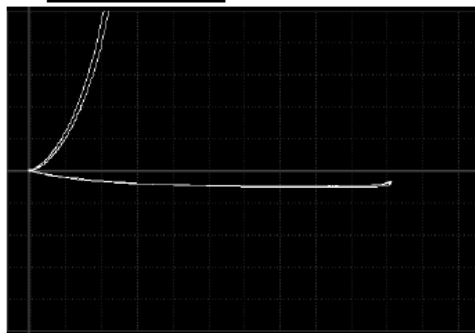


Blok Kalibrasi Frekuensi 50 kHz

- Blok Kalibrasi Step 1 Frekuensi 50 khz

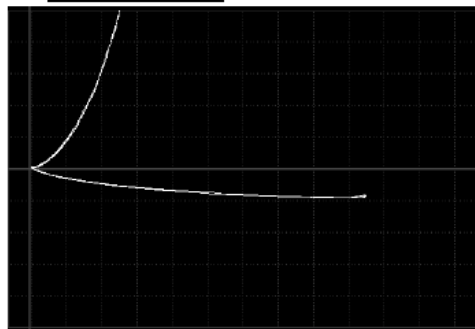
- Point 1

APP 10.2



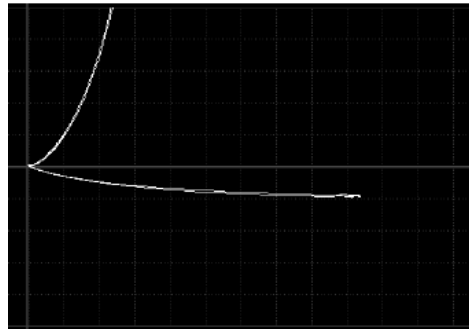
- Point 2

APP 9.6



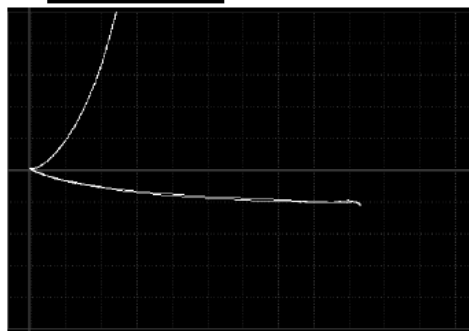
- Point 3

APP 9.4



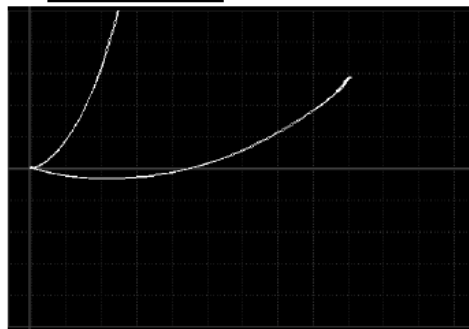
- Point 4

APP 9.4



- Point 5

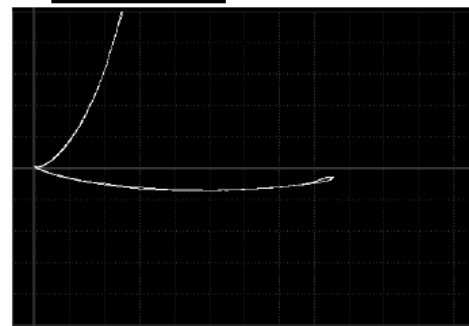
APP 9.5



- Blok Kalibrasi Step 2 Frekuensi 50 khz

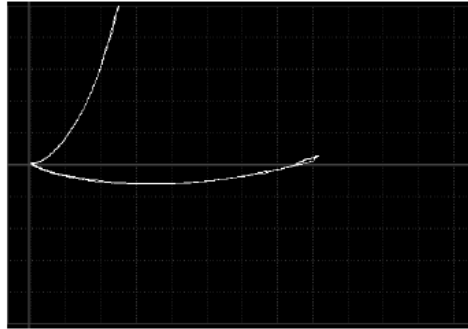
- Point 1

APP 8.6



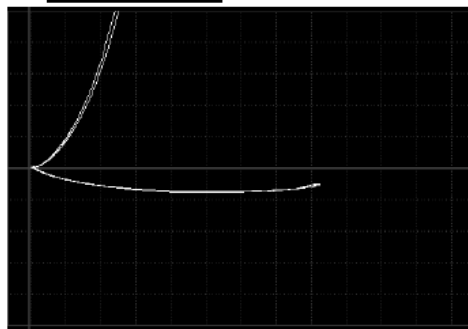
- Point 2

APP 8.2



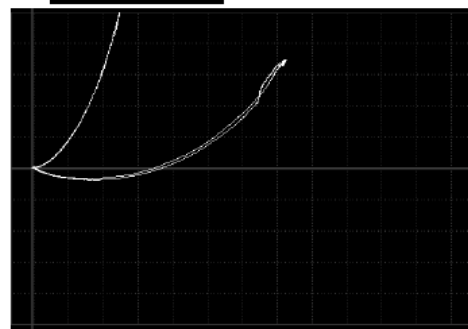
- Point 3

APP 8.3



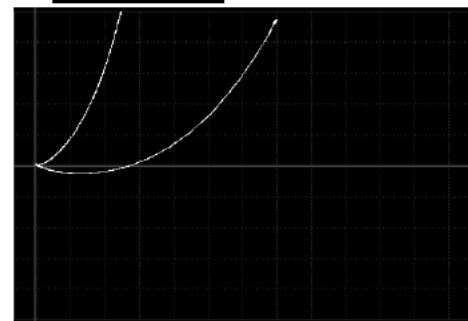
- Point 4

APP 8.0



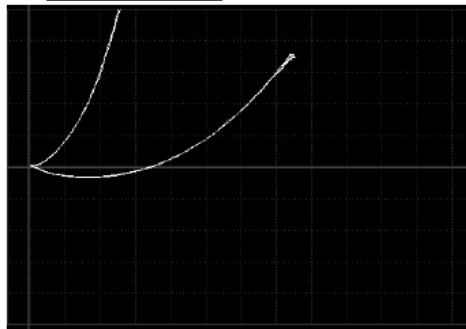
- Point 5

APP 8.4



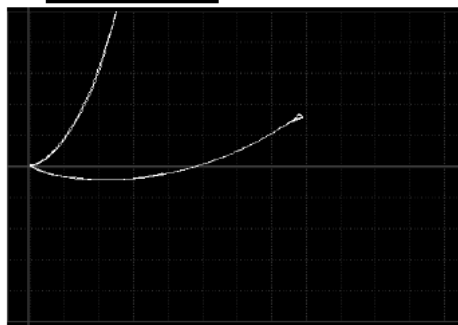
- Blok Kalibrasi Step 3 Frekuensi 50 khz
 - Point 1

APP 8.3



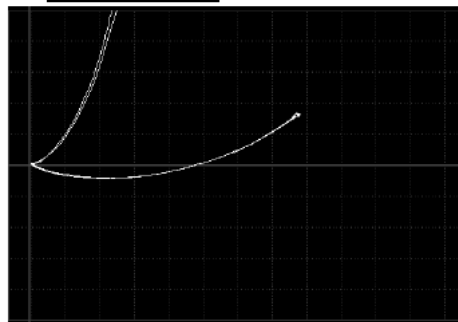
- Point 2

APP 8.1



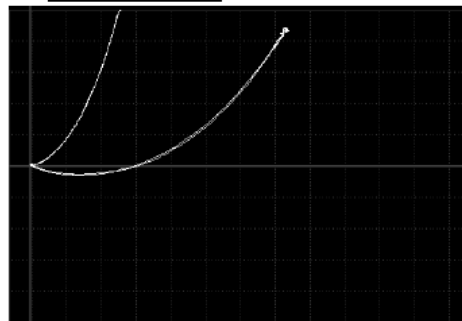
- Point 3

APP 8.0



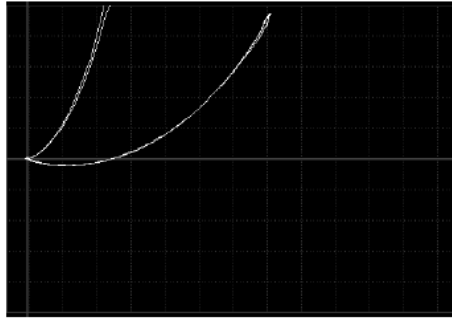
- Point 4

APP 8.6



- Point 5

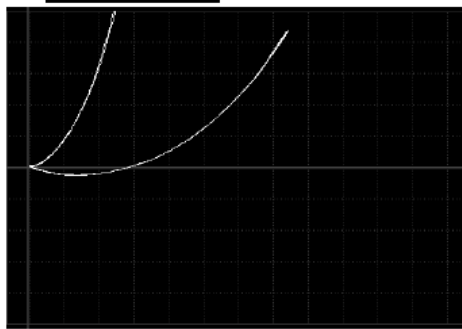
APP 8.5



- Blok Kalibrasi Step 4 Frekuensi 50 khz

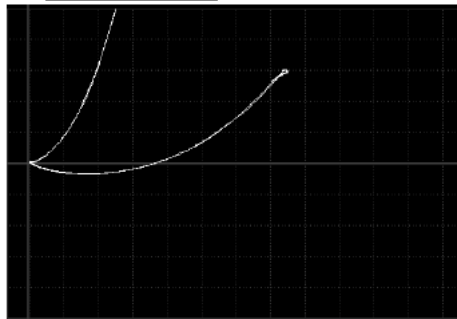
- Point 1

APP 8.6



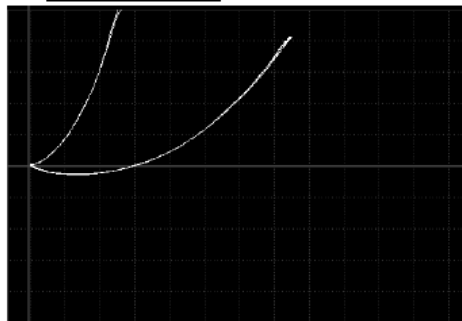
- Point 2

APP 8.1



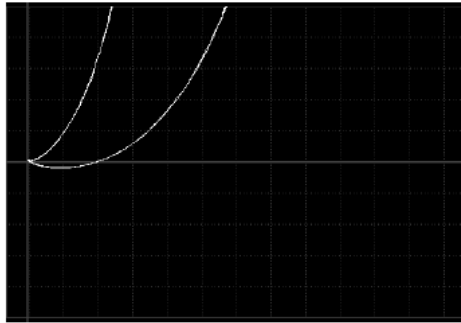
- Point 3

APP 8.5



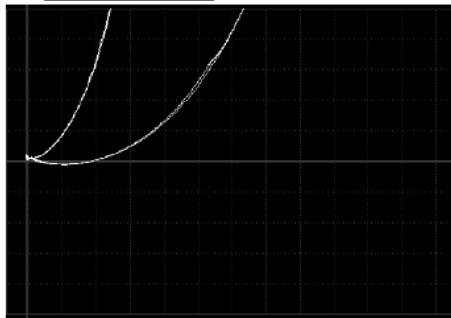
- Point 4

APP 8.2



- Point 5

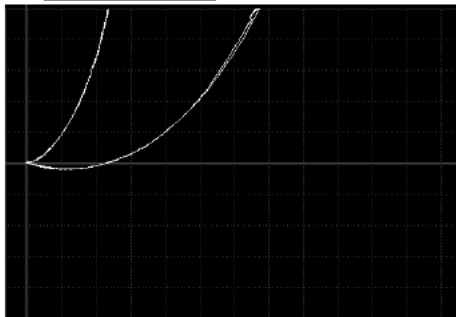
APP 8.5



- Blok Kalibrasi Step 5 Frekuensi 50 khz

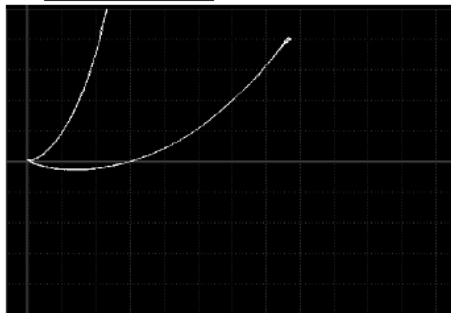
- Point 1

APP 8.6



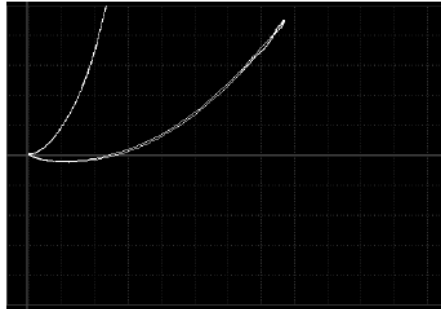
- Point 2

APP 8.7



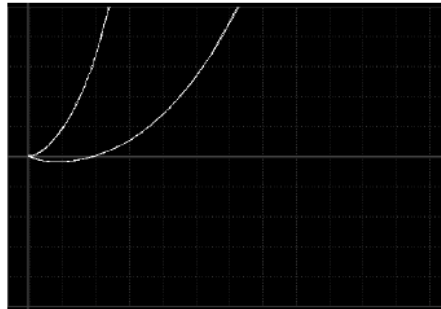
- Point 3

APP 8.9



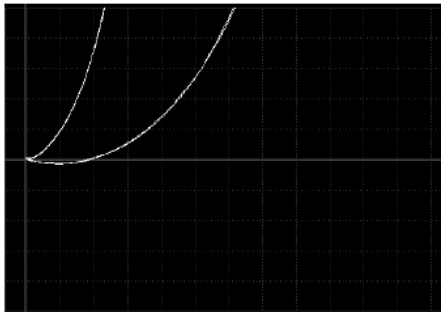
- Point 4

APP 8.8



- Point 5

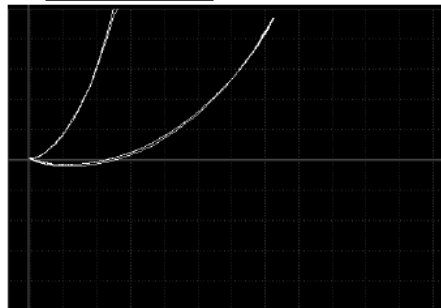
APP 8.5



- Blok Kalibrasi Step 6 Frekuensi 50 khz

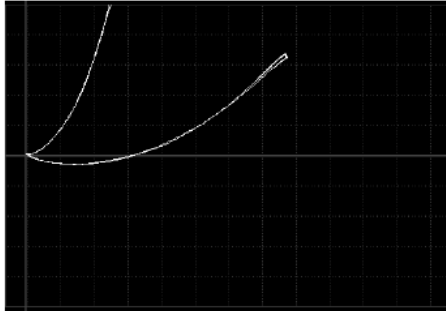
- Point 1

APP 8.6



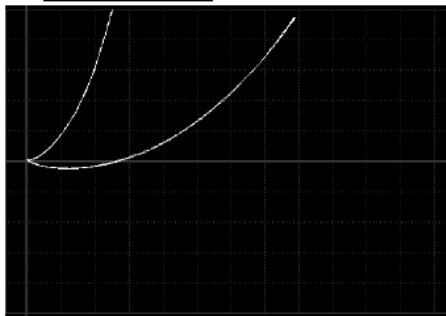
- Point 2

APP 8.4



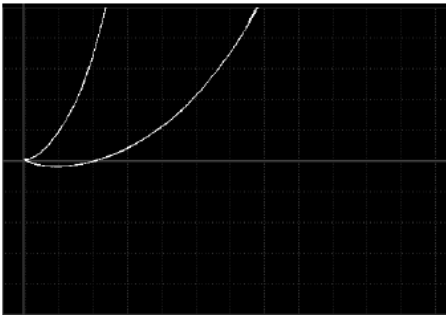
- Point 3

APP 9.2



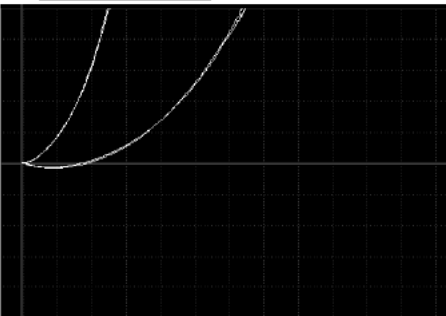
- Point 4

APP 9.1



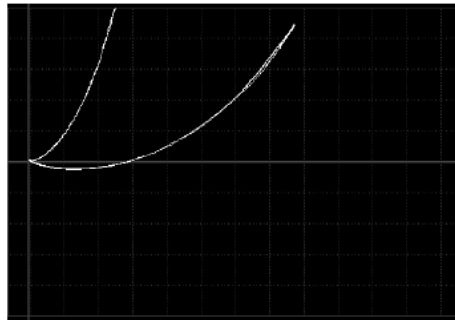
- Point 5

APP 8.5



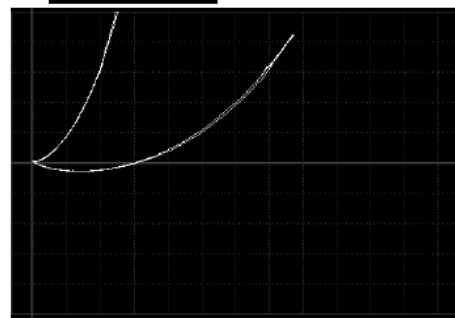
- Blok Kalibrasi Step 7 Frekuensi 50 khz
 - Point 1

APP 8.9



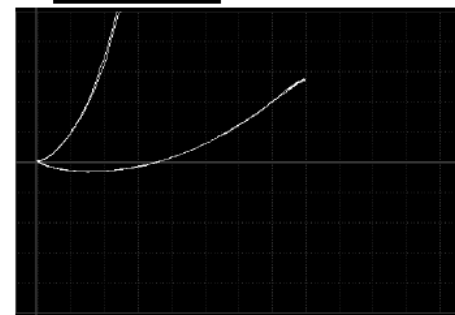
- Point 2

APP 8.8



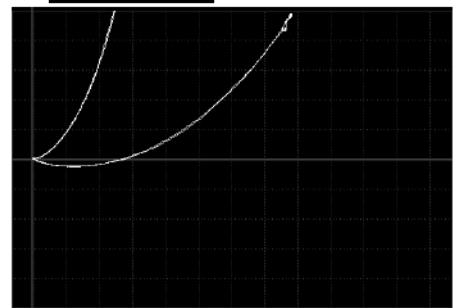
- Point 3

APP 8.4



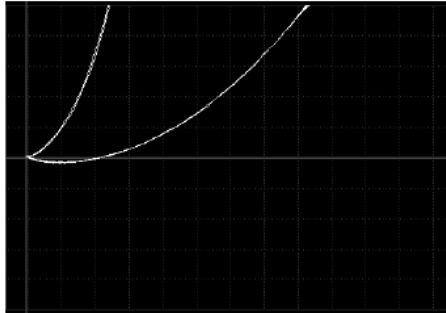
- Point 4

APP 9.2



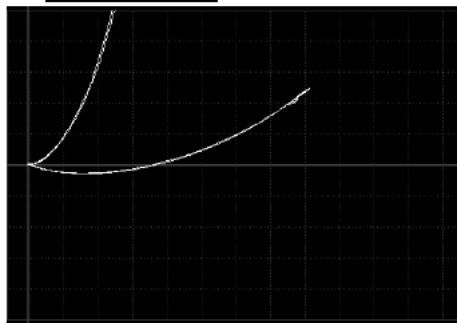
- Point 5

APP 9.8



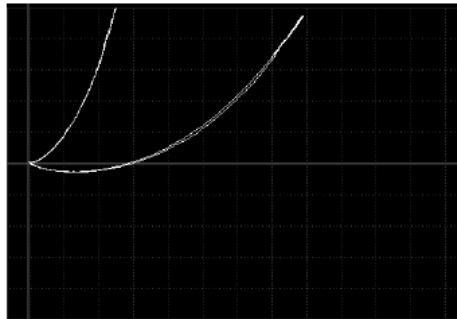
- Blok Kalibrasi Step 8 Frekuensi 50 khz
- Point 1

APP 8.5



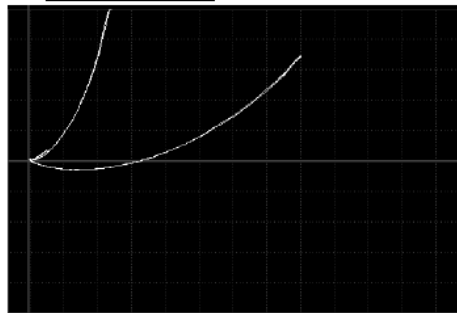
- Point 2

APP 9.2



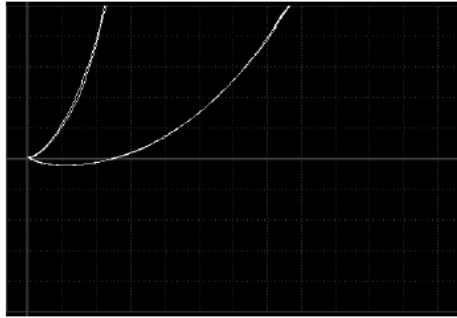
- Point 3

APP 8.7



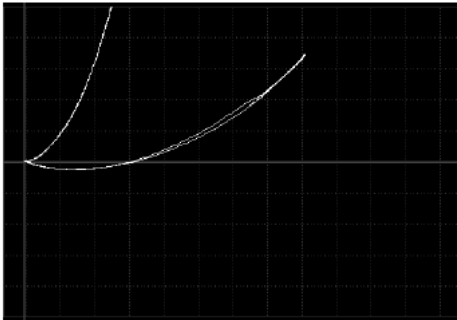
- Point 4

APP 9.3



- Point 5

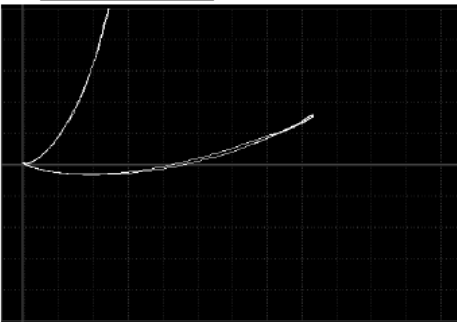
APP 8.8



- Blok Kalibrasi Step 9 Frekuensi 50 khz

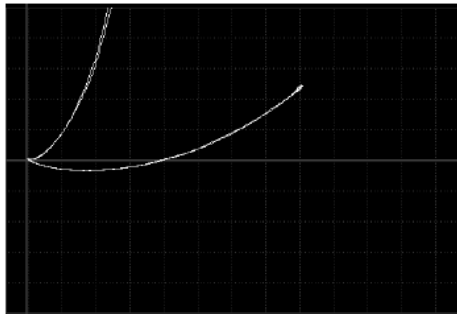
- Point 1

APP 8.5



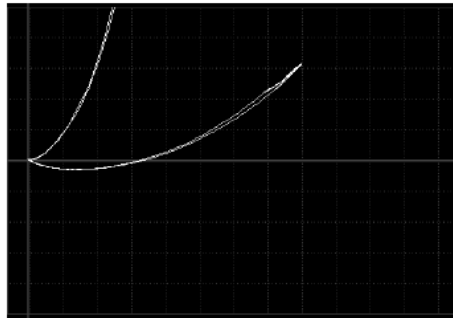
- Point 2

APP 8.5



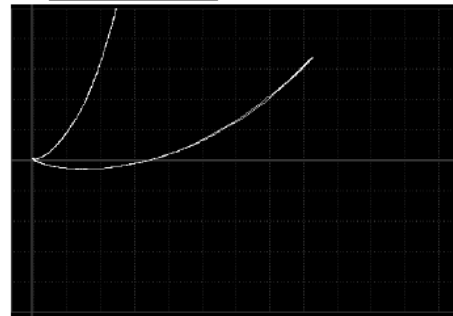
- Point 3

APP 8.6



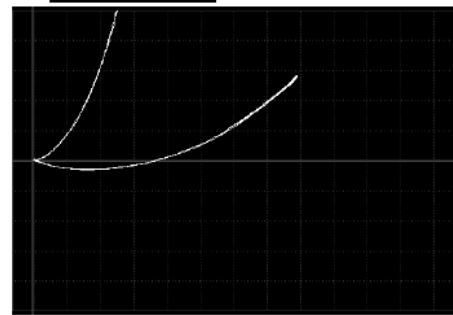
- Point 4

APP 8.9



- Point 5

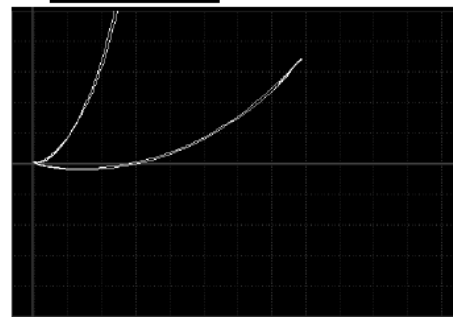
APP 8.4



- Blok Kalibrasi Step 10 Frekuensi 50 khz

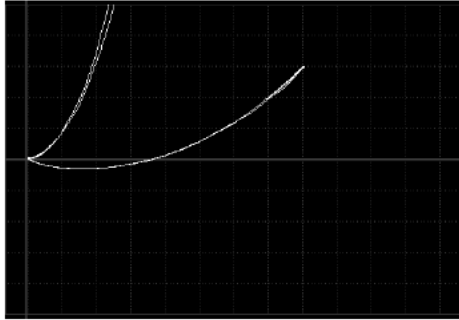
- Point 1

APP 8.6



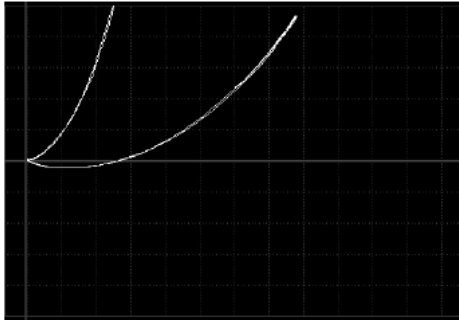
- Point 2

APP 8.6



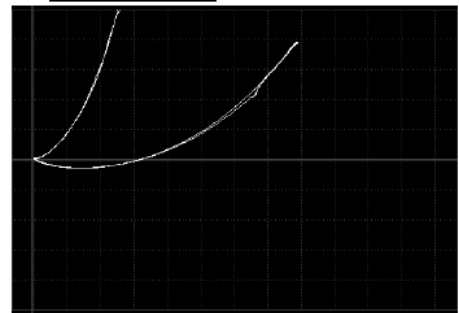
- Point 3

APP 9.1



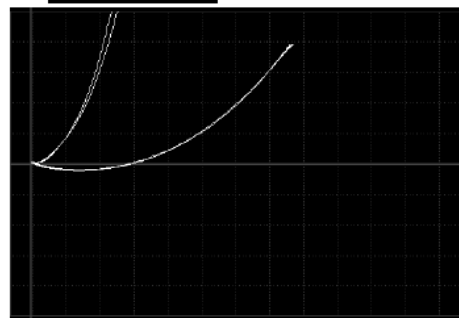
- Point 4

APP 8.8



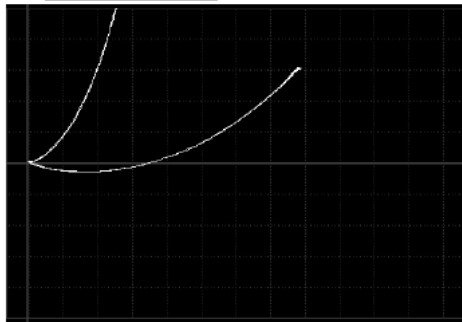
- Point 5

APP 8.6



- Blok Kalibrasi Step 11 Frekuensi 50 khz
 - Point 1

APP 8.5



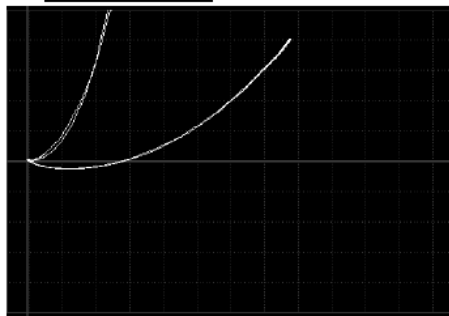
- Point 2

APP 8.8



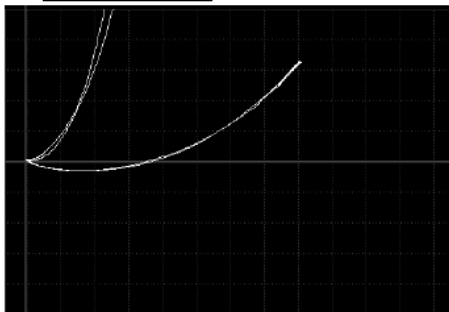
- Point 3

APP 8.8



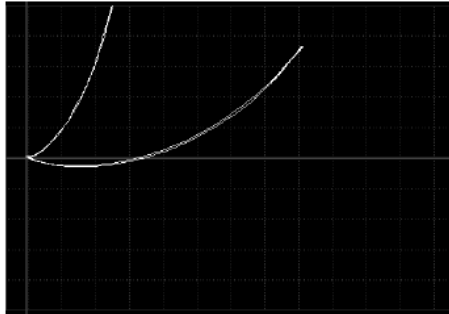
- Point 4

APP 8.7



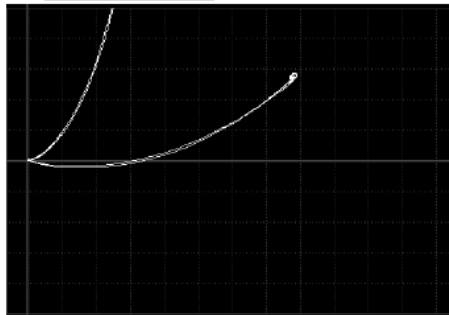
- Point 5

APP 8.9



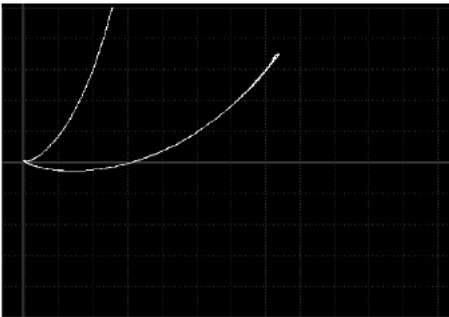
- Blok Kalibrasi Step 12 Frekuensi 50 khz
- Point 1

APP 8.4



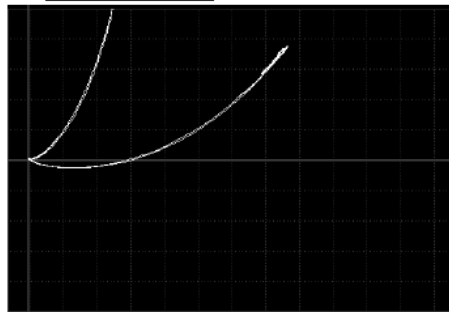
- Point 2

APP 8.4



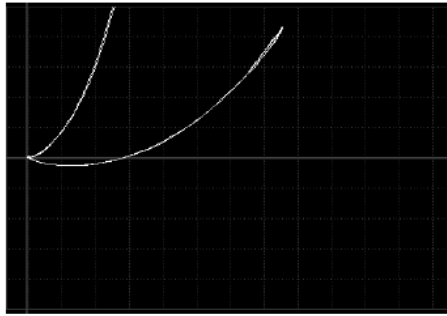
- Point 3

APP 8.5



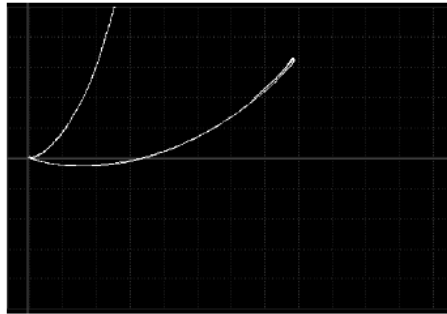
- Point 4

APP 8.7



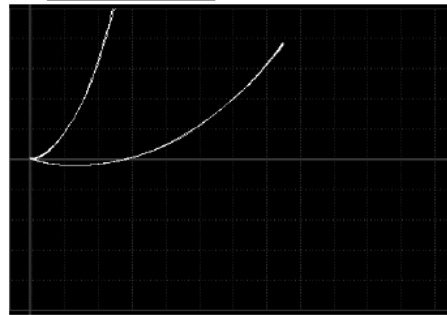
- Point 5

APP 8.5



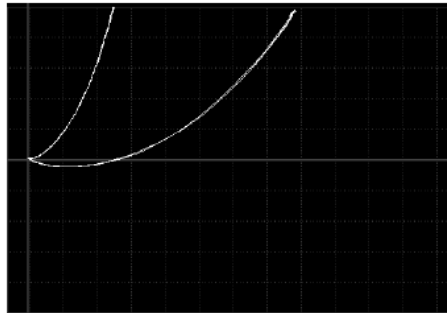
- Blok Kalibrasi Step 13 Frekuensi 50 khz
 - Point 1

APP 8.4



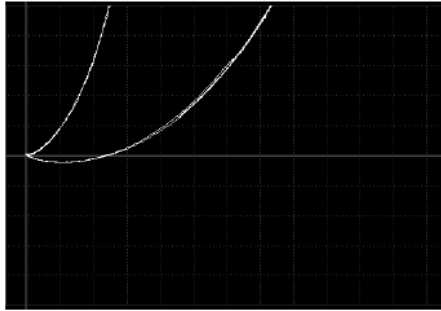
- Point 2

APP 9.2



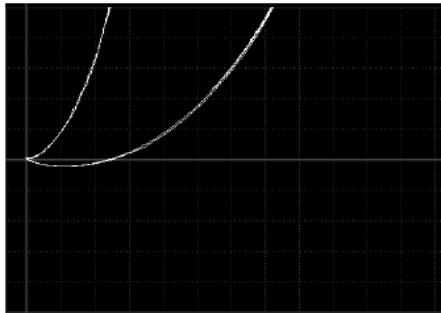
- Point 3

APP 8.9



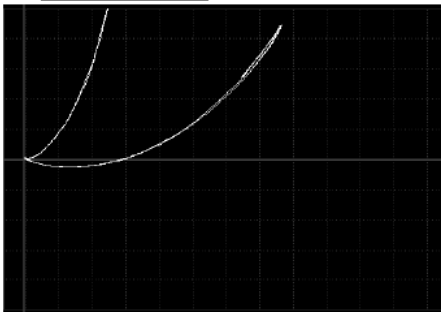
- Point 4

APP 8.8



- Point 5

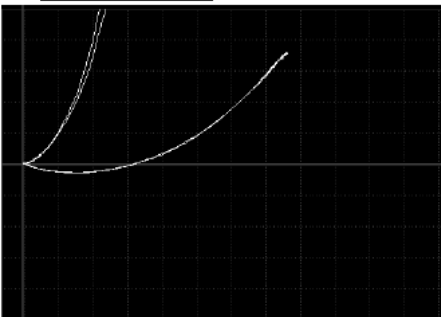
APP 8.8



- Blok Kalibrasi Step 14 Frekuensi 50 khz

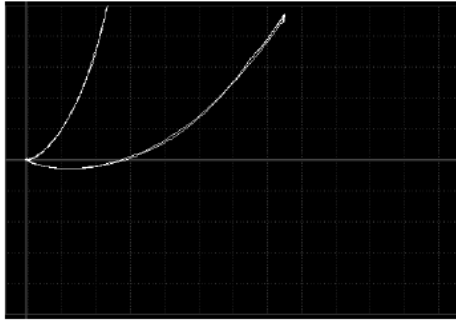
- Point 1

APP 8.4



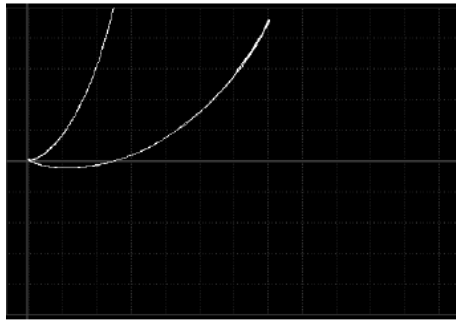
- Point 2

APP 8.9



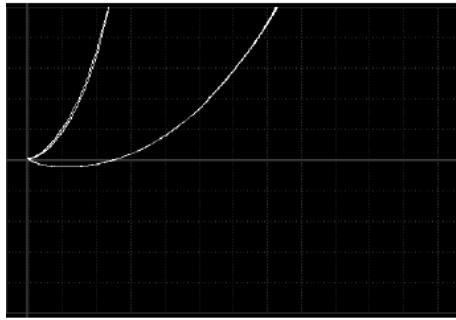
- Point 3

APP 8.4



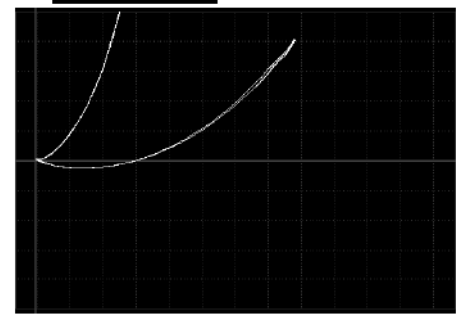
- Point 4

APP 8.9



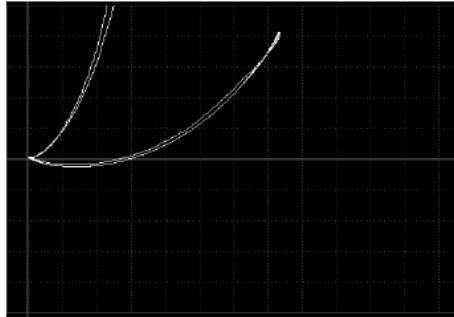
- Point 5

APP 8.8



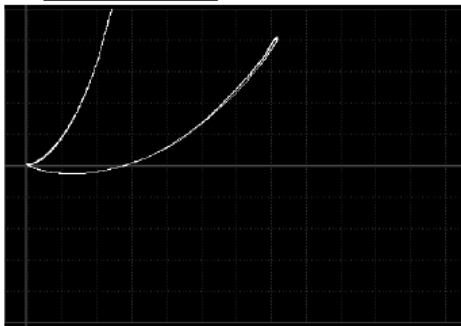
- Blok Kalibrasi Step 15 Frekuensi 50 khz
 - Point 1

APP 8.4



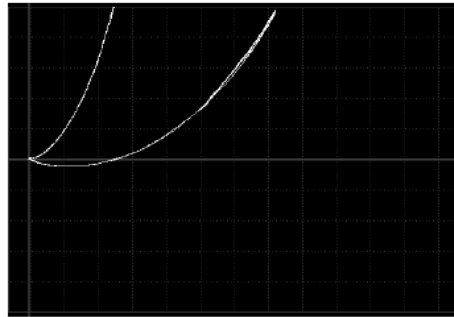
- Point 2

APP 8.3



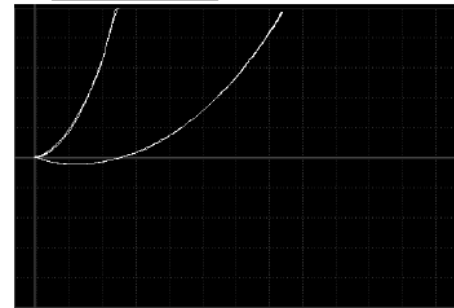
- Point 3

APP 8.7



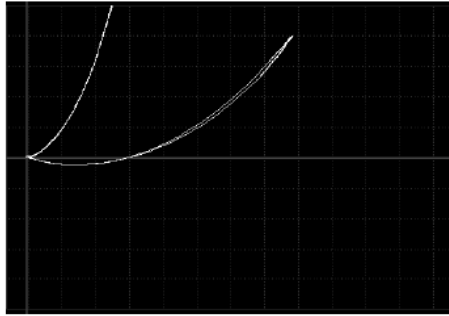
- Point 4

APP 8.9



- Point 5

APP 8.8

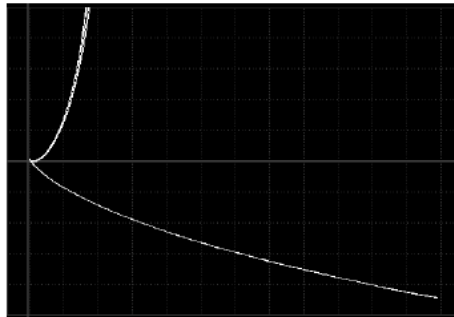


Blok Kalibrasi Frekuensi 500 kHz

- Blok Kalibrasi Step 1 Frekuensi 500 khz

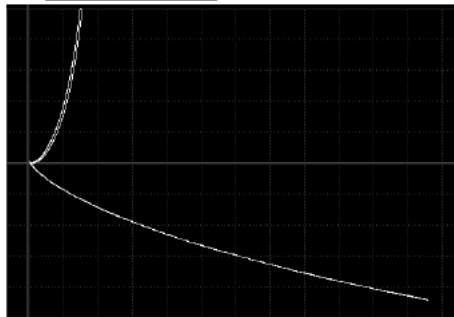
- Point 1

DP 200.6



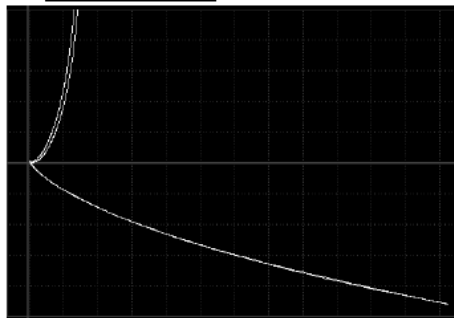
- Point 2

DP 201.0



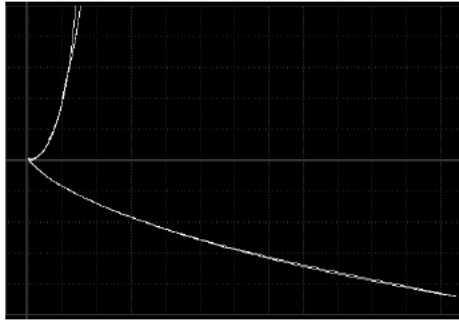
- Point 3

DP 200.7



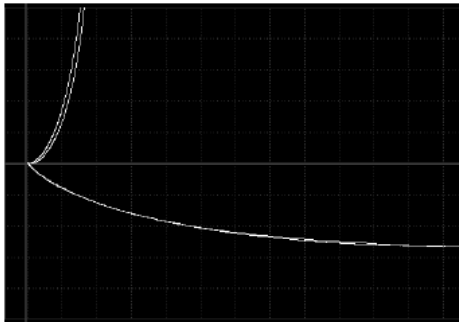
- Point 4

°PP 199.6



- Point 5

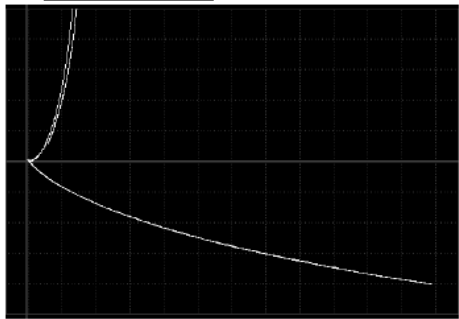
°PP 192.1



- Blok Kalibrasi Step 2 Frekuensi 500 khz

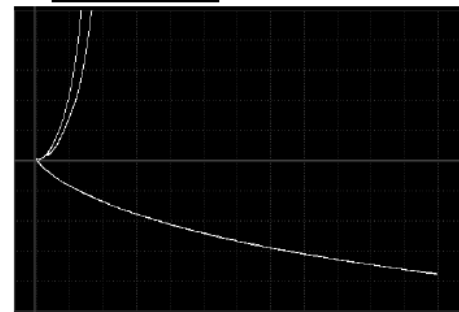
- Point 1

°PP 198.8



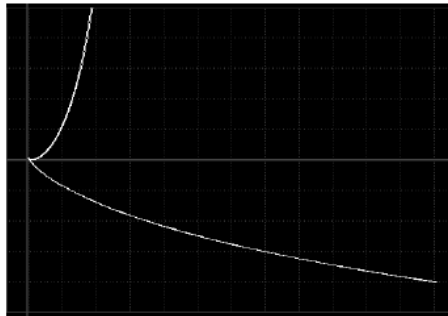
- Point 2

°PP 197.6



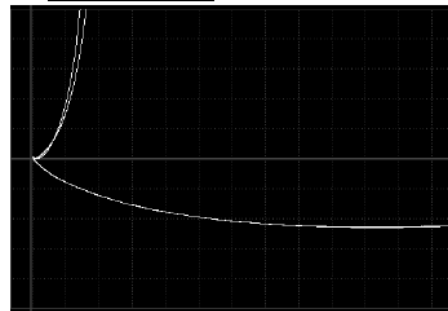
- Point 3

"DP 198.5



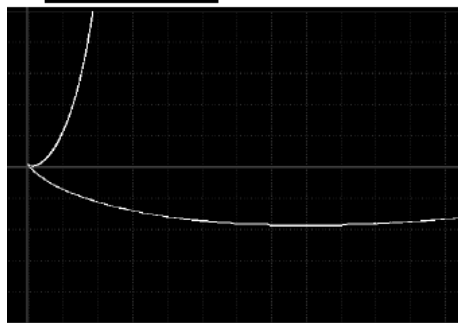
- Point 4

"DP 190.2



- Point 5

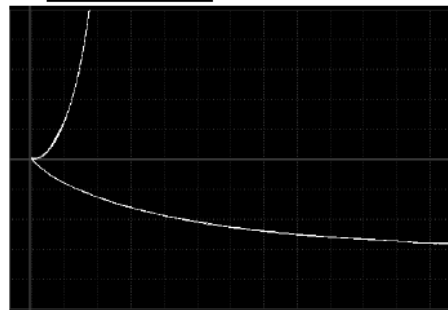
"DP 187.5



- Blok Kalibrasi Step 3 Frekuensi 500 khz

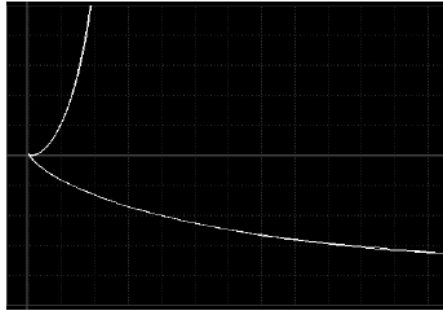
- Point 1

"DP 192.7



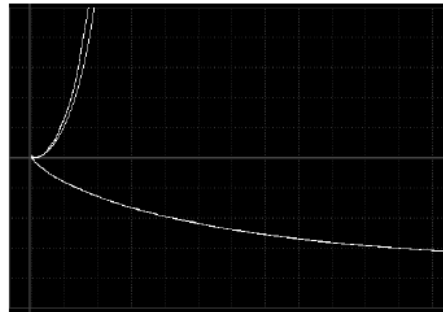
- Point 2

DP 194.8



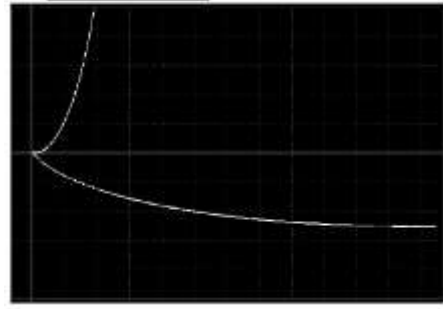
- Point 3

DP 194.2



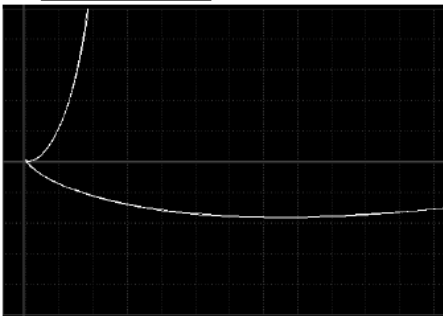
- Point 4

DP 191.6



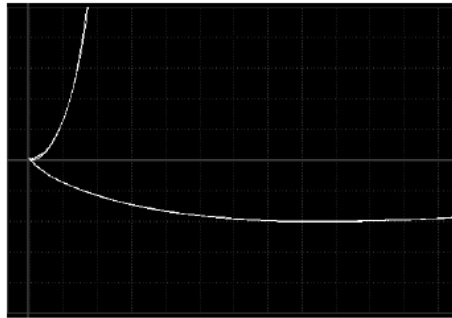
- Point 5

DP 186.8



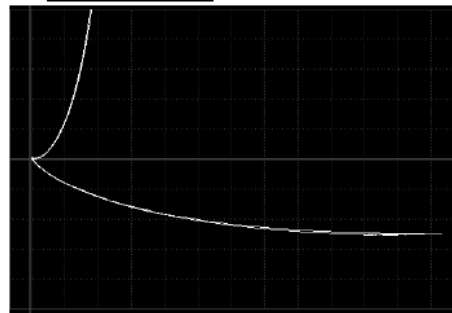
- Blok Kalibrasi Step 4 Frekuensi 500 khz
 - Point 1

°DP 188.8



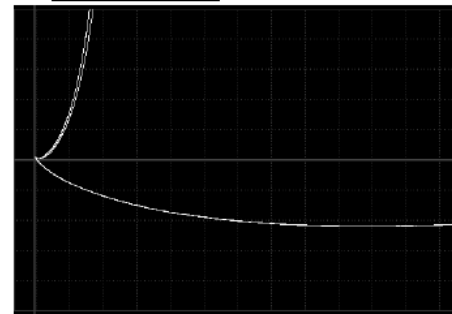
- Point 2

°DP 191.5



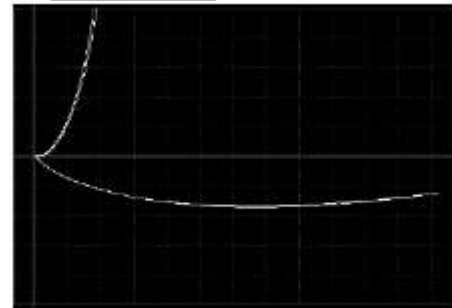
- Point 3

°DP 189.9



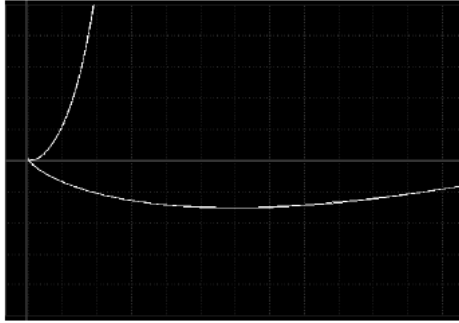
- Point 4

°DP 186.0



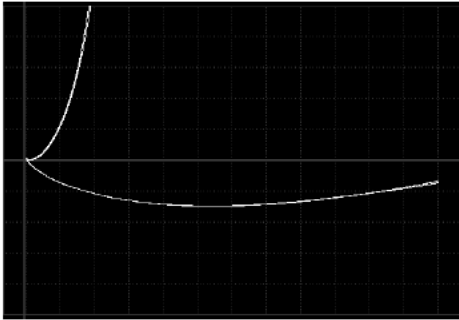
- Point 5

"pp 183.8



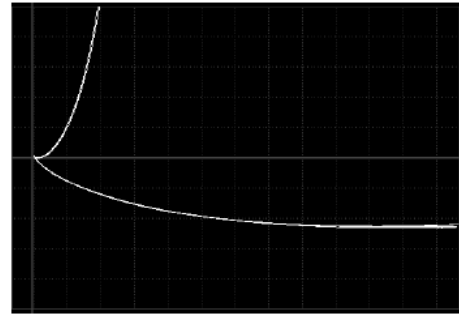
- Blok Kalibrasi Step 5 Frekuensi 500 khz
- Point 1

"pp 183.6



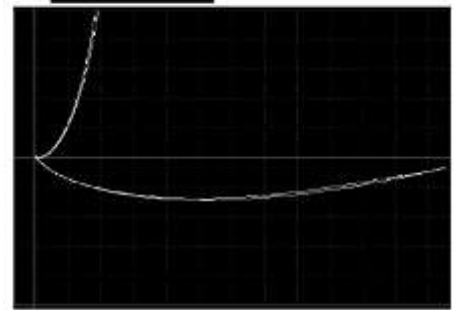
- Point 2

"pp 190.0

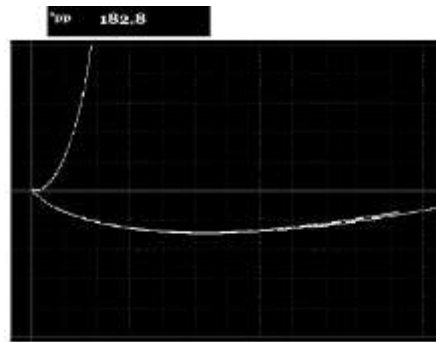


- Point 3

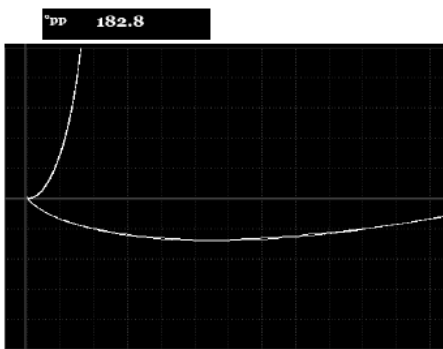
"pp 181.7



- Point 4

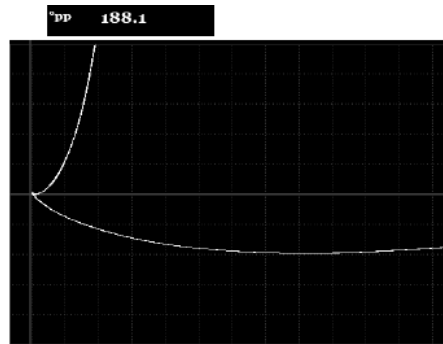


- Point 5

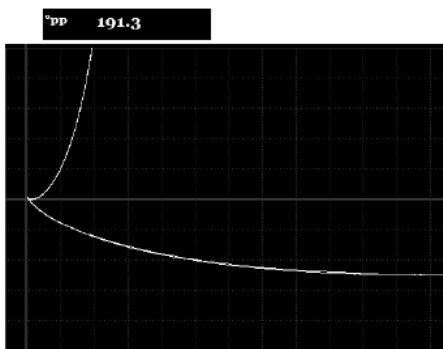


- Blok Kalibrasi Step 6 Frekuensi 500 khz

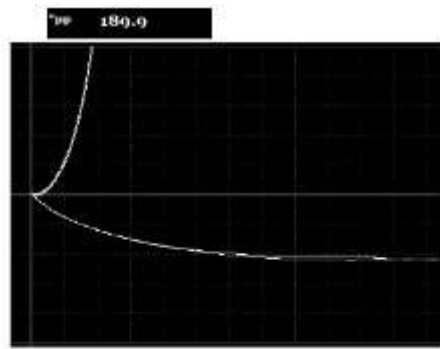
- Point 1



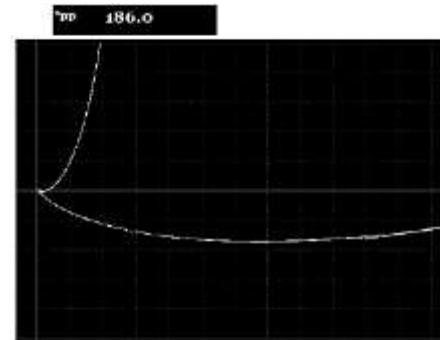
- Point 2



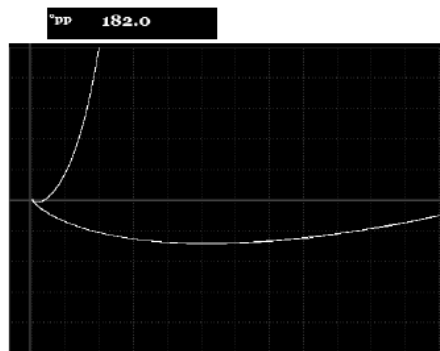
- Point 3



- Point 4

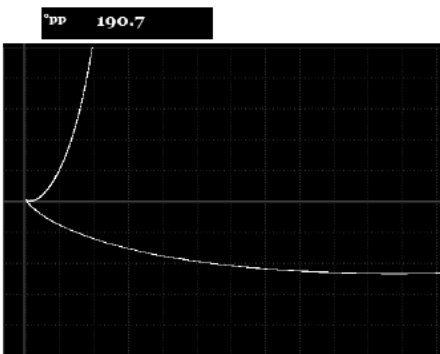


- Point 5



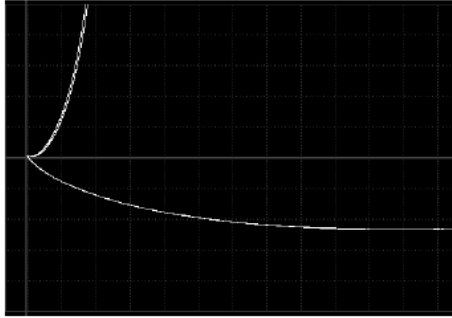
- Blok Kalibrasi Step 7 Frekuensi 500 khz

- Point 1



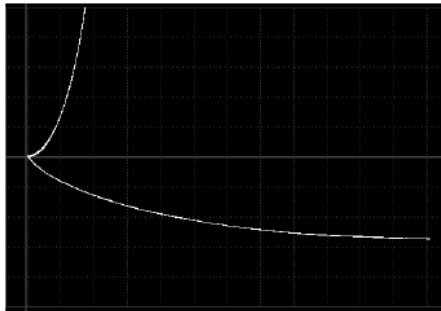
- Point 2

°PP 190.4



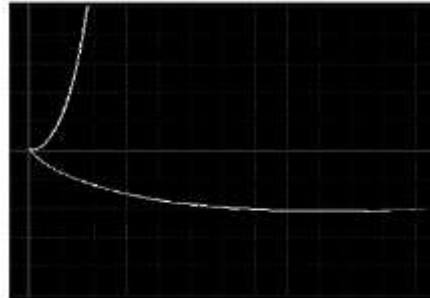
- Point 3

°PP 192.9



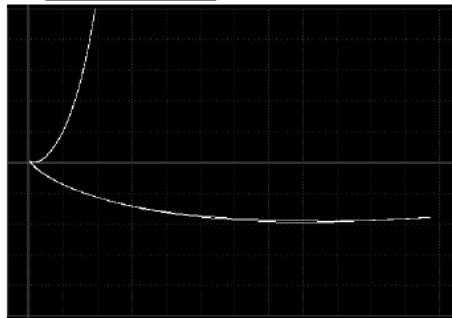
- Point 4

°PP 189.6



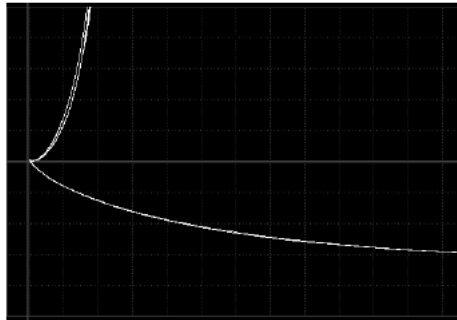
- Point 5

°PP 188.8



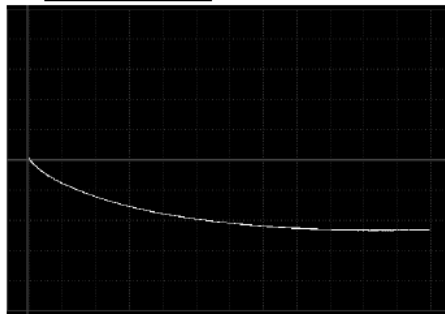
- Blok Kalibrasi Step 8 Frekuensi 500 khz
 - Point 1

DP 193.4



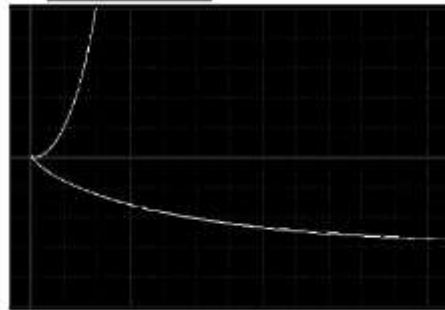
- Point 2

DP 191.0



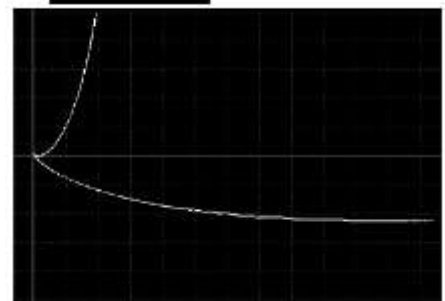
- Point 3

DP 192.4

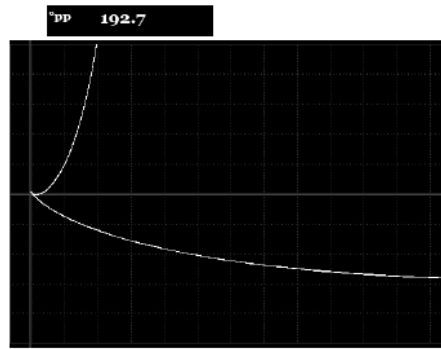


- Point 4

DP 190.4

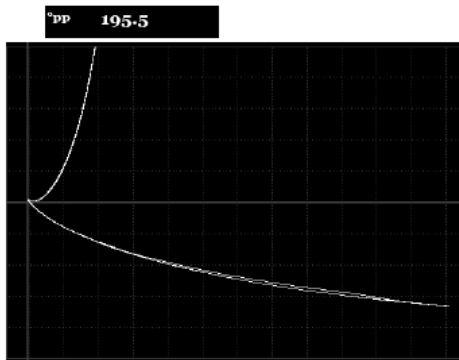


- Point 5

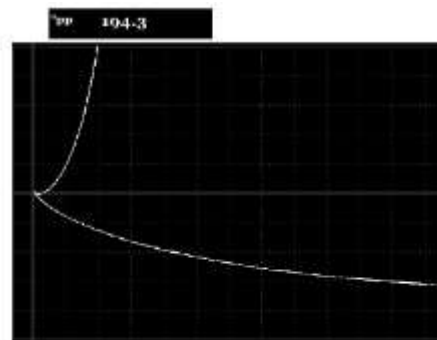


- Blok Kalibrasi Step 9 Frekuensi 500 khz

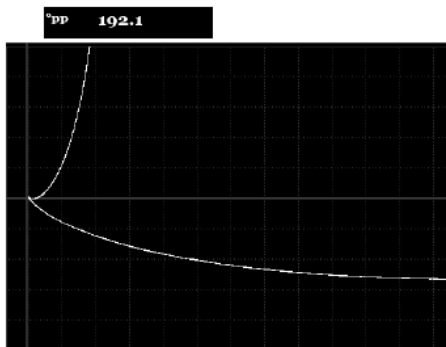
- Point 1



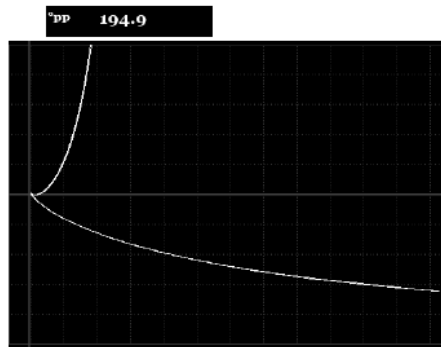
- Point 2



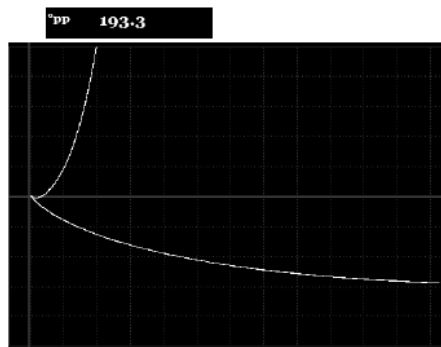
- Point 3



- Point 4

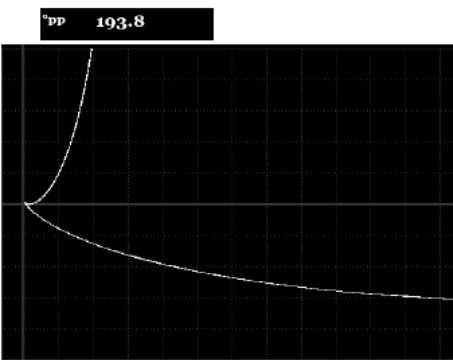


- Point 5

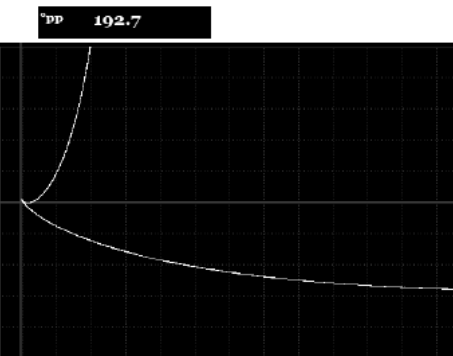


- Blok Kalibrasi Step 10 Frekuensi 500 khz

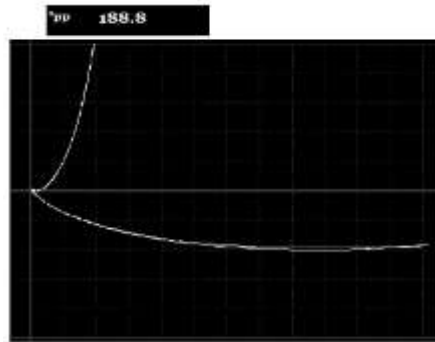
- Point 1



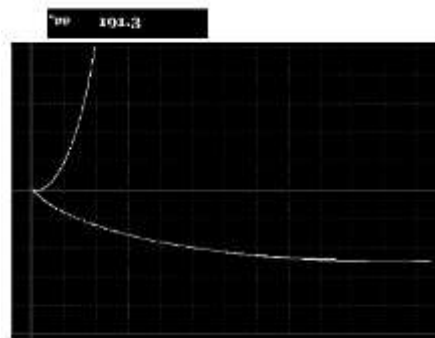
- Point 2



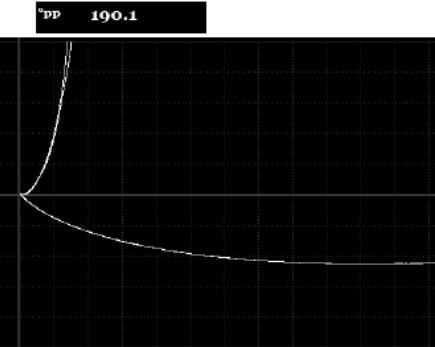
- Point 3



- Point 4

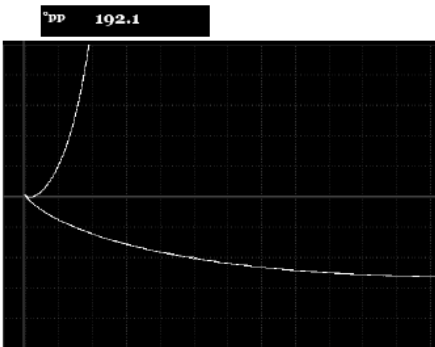


- Point 5



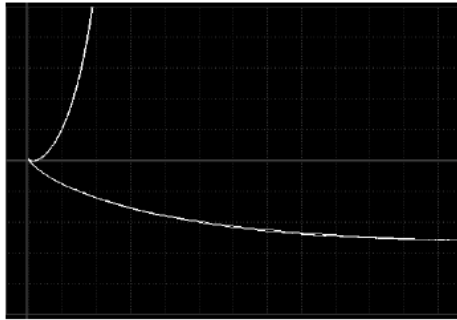
- Blok Kalibrasi Step 11 Frekuensi 500 khz

- Point 1



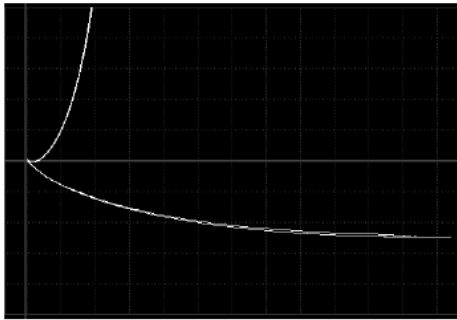
- Point 2

DP 191.7



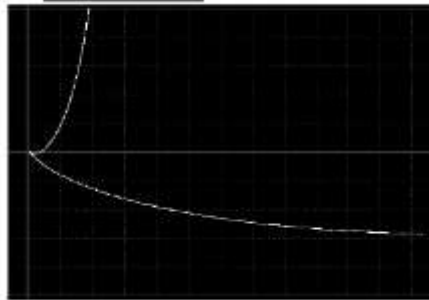
- Point 3

DP 191.4



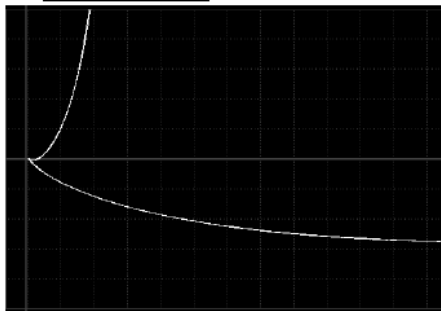
- Point 4

DP 193.2

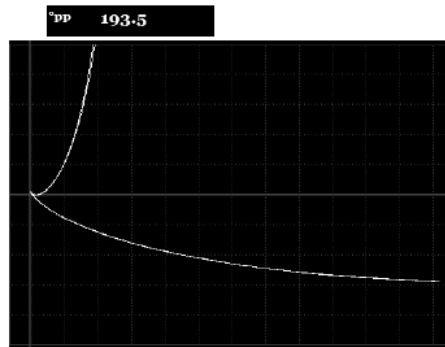


- Point 5

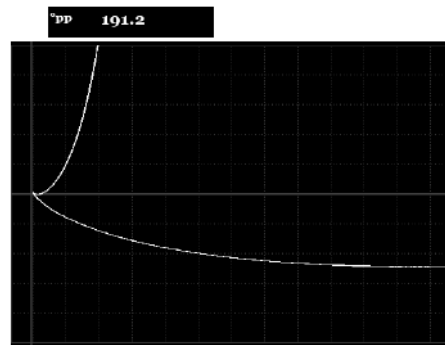
DP 192.5



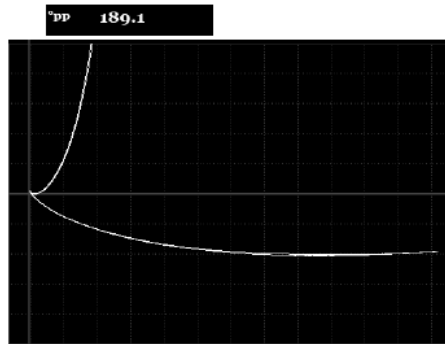
- Blok Kalibrasi Step 12 Frekuensi 500 khz
 - Point 1



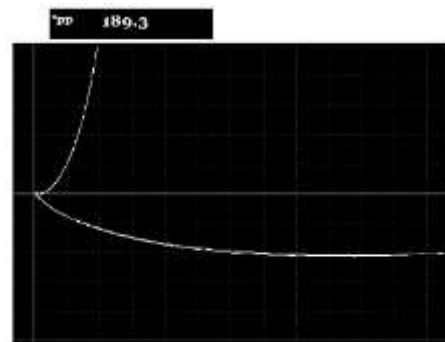
- Point 2



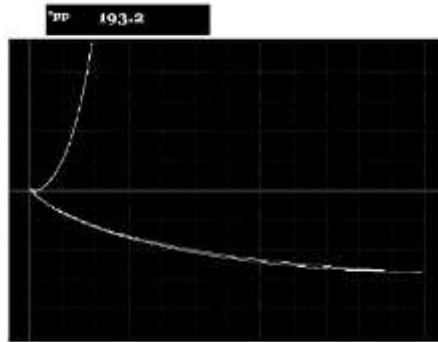
- Point 3



- Point 4

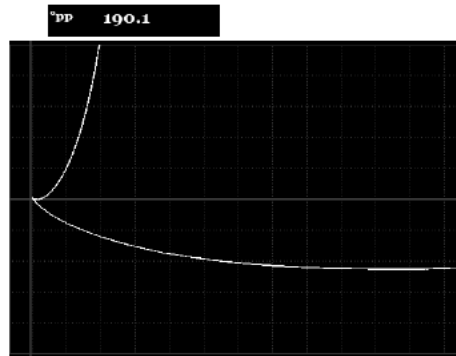


- Point 5

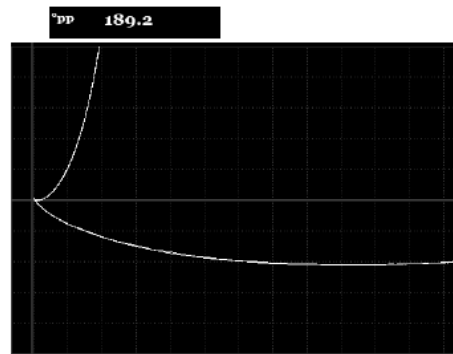


- Blok Kalibrasi Step 13 Frekuensi 500 khz

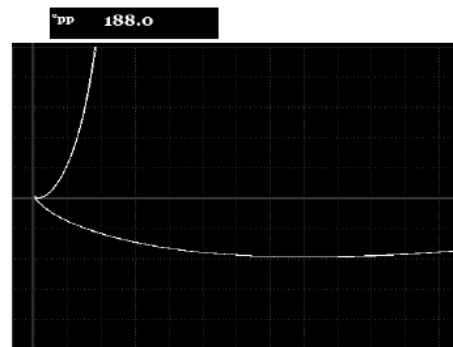
- Point 1



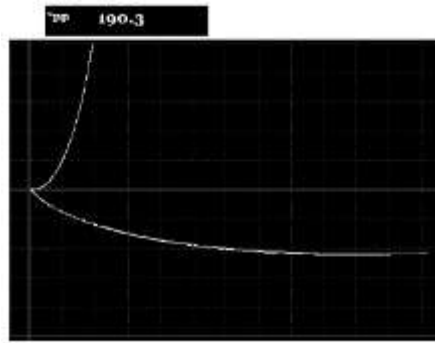
- Point 2



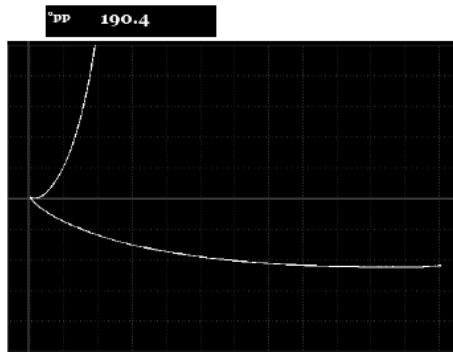
- Point 3



- Point 4

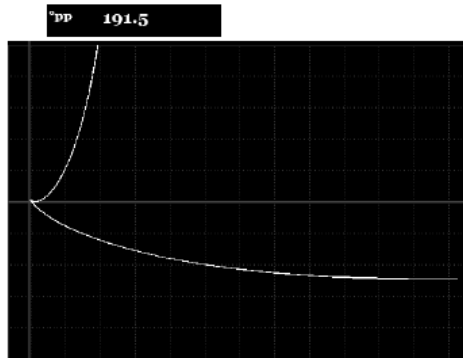


- Point 5

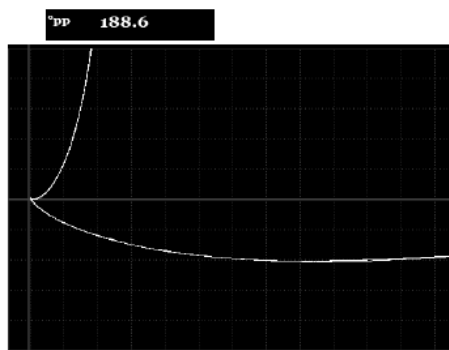


- Blok Kalibrasi Step 14 Frekuensi 500 khz

- Point 1

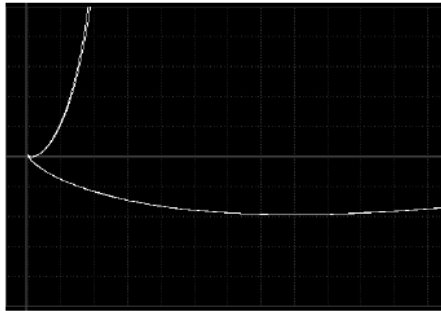


- Point 2



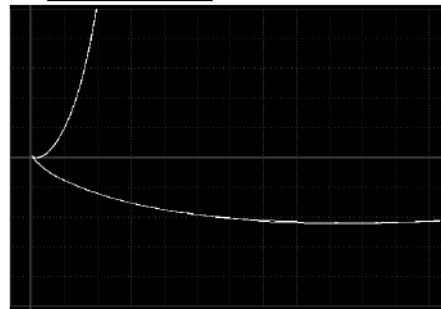
- Point 3

"DP 187.9



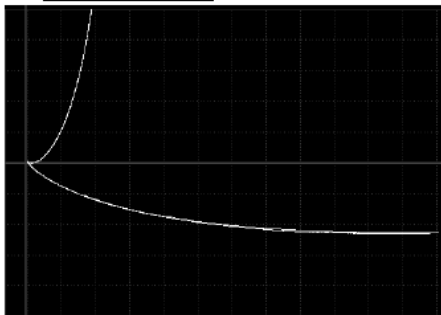
- Point 4

"DP 189.9



- Point 5

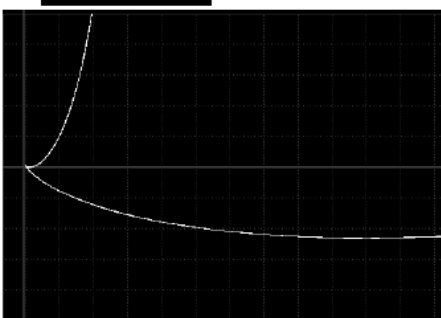
"DP 190.9



- Blok Kalibrasi Step 15 Frekuensi 500 khz

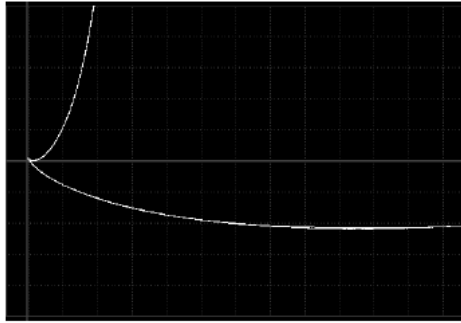
- Point 1

"DP 190.4



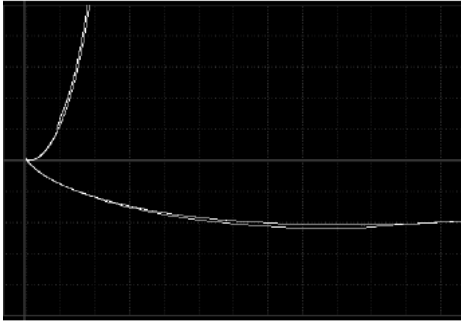
- Point 2

DP 189.5



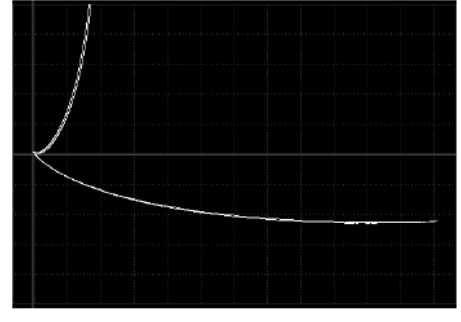
- Point 3

DP 189.0



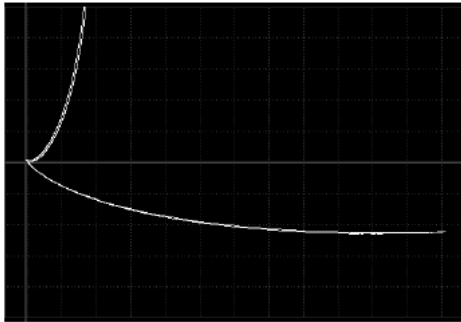
- Point 4

DP 190.6



- Point 5

DP 190.6



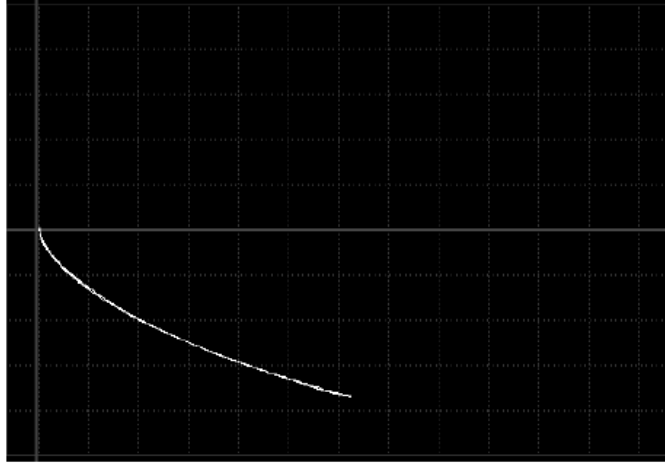
LAMPIRAN B
HASIL PENGUJIAN SPESIMEN UJI

Spesimen Uji Frekuensi 15 kHz

- Spesimen Uji Step 1 Frekuensi 15 khz

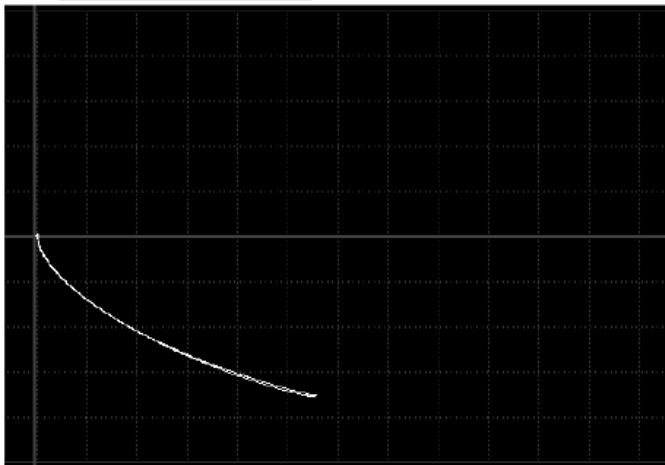
Point 1

$^{\circ}\text{PP}$ 211.1



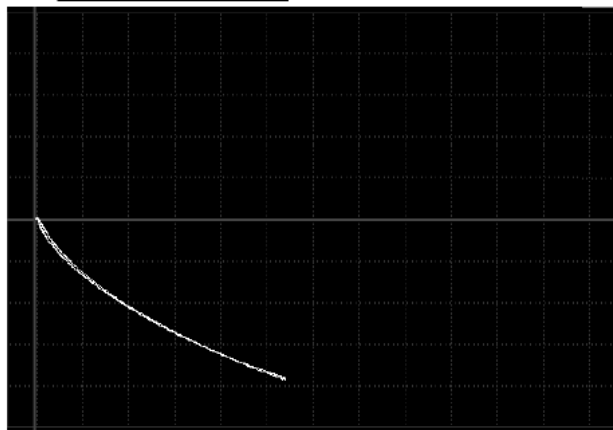
Point 2

$^{\circ}\text{PP}$ 212.6



Point 3

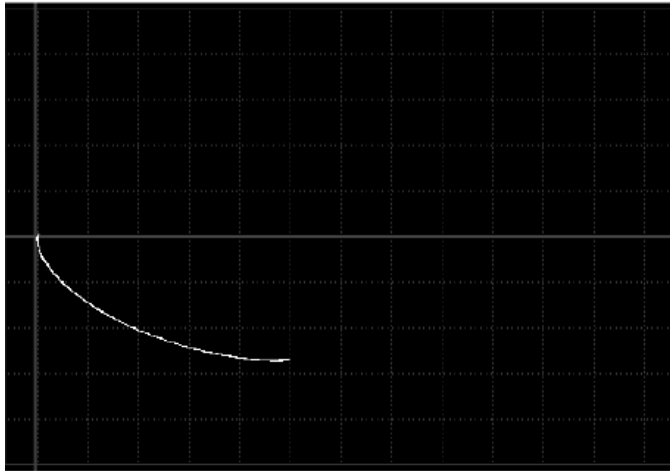
$^{\circ}\text{PP}$ 215.8



- Spesimen Uji Step 2 Frekuensi 15 khz

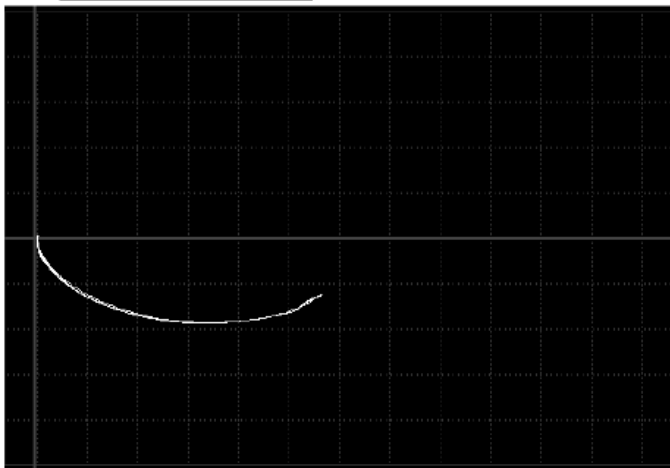
Point 1

σ_{PP} 208.7



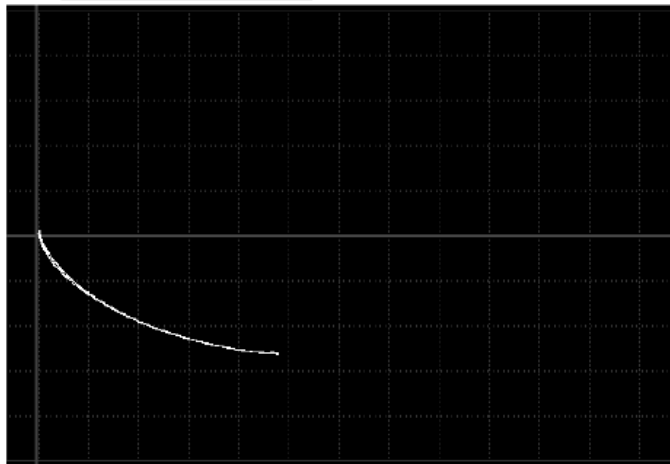
Point 2

σ_{PP} 192.9



Point 3

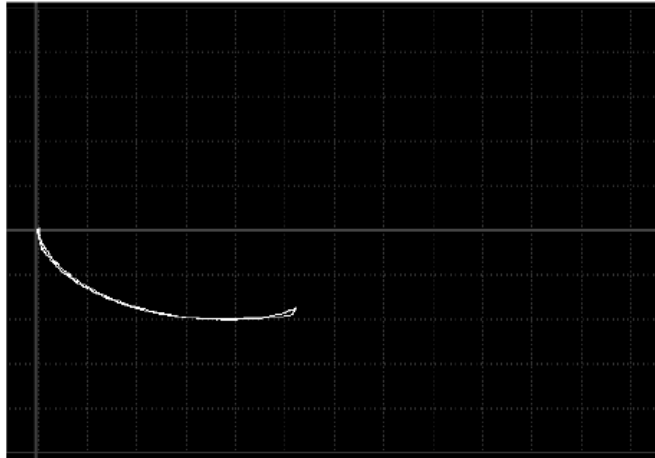
σ_{PP} 209.0



- Spesimen Uji Step 3 Frekuensi 15 khz

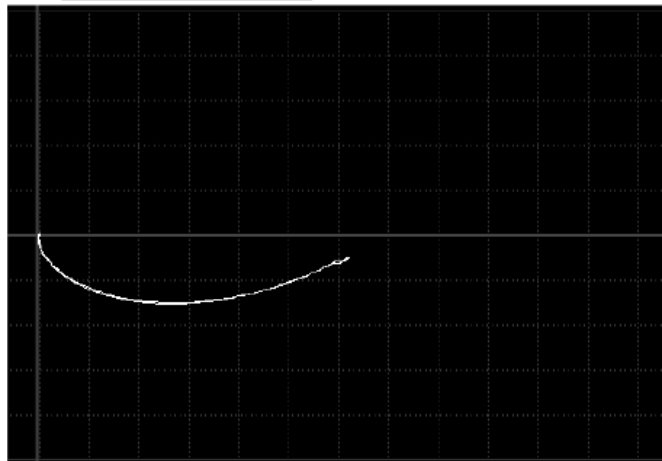
Point 1

$^{\circ}PP$ 198.8



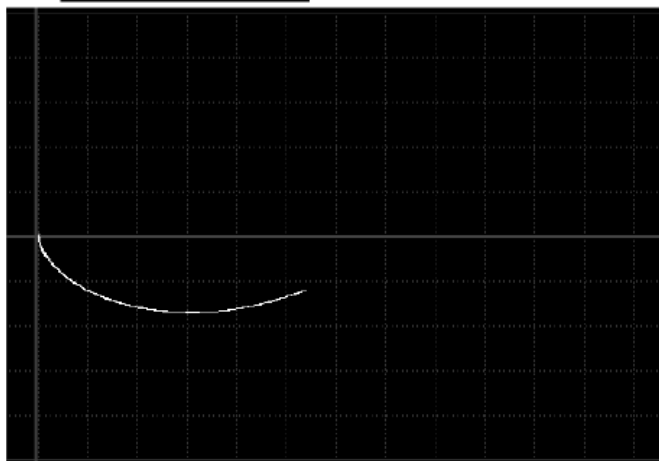
Point 2

$^{\circ}PP$ 185.0



Point 3

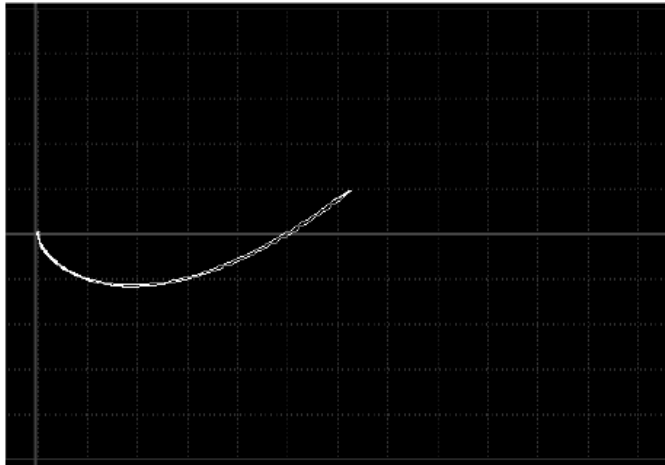
$^{\circ}PP$ 193.1



- Spesimen Uji Step 4 Frekuensi 15 khz

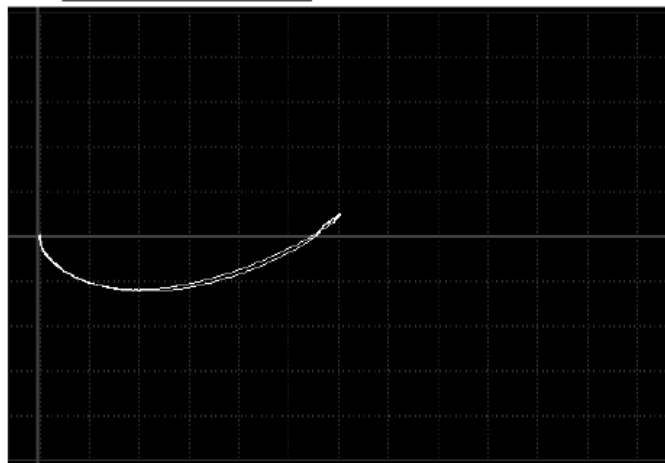
Point 1

θ_{PP} 171.5



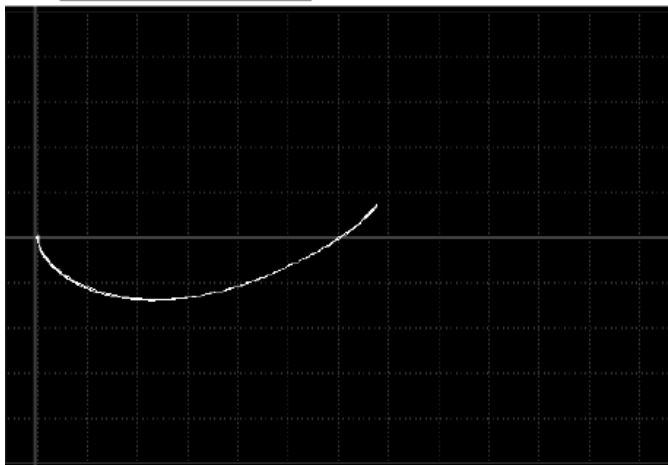
Point 2

θ_{PP} 175.7



Point 3

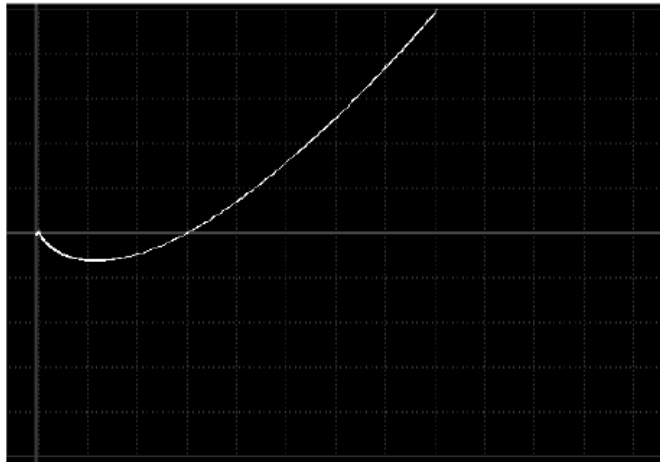
θ_{PP} 174.2



- Spesimen Uji Step 5 Frekuensi 15 khz

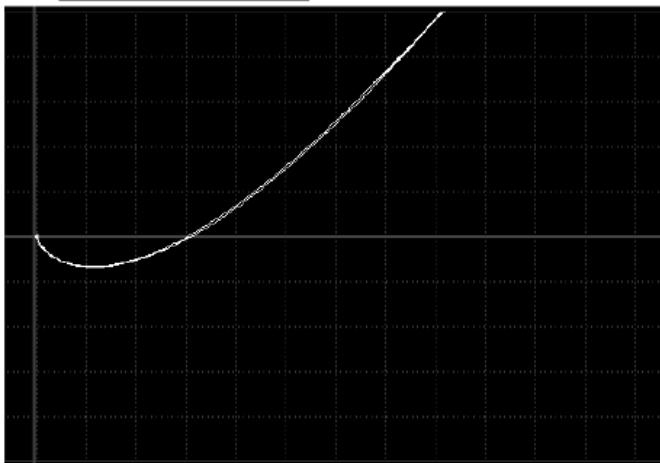
Point 1

θ_{PP} 149.3



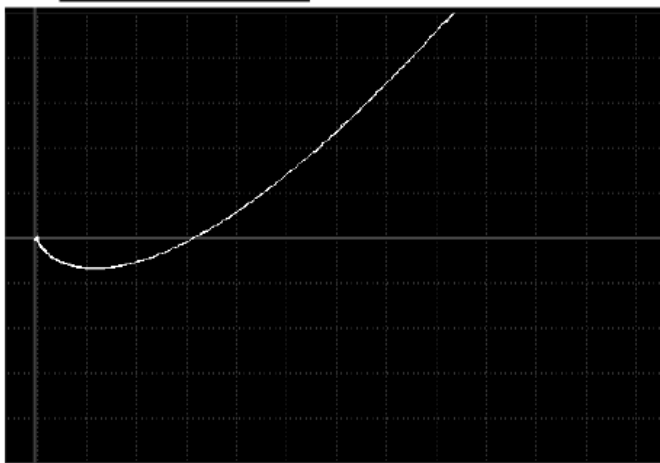
Point 2

θ_{PP} 149.6



Point 3

θ_{PP} 150.1

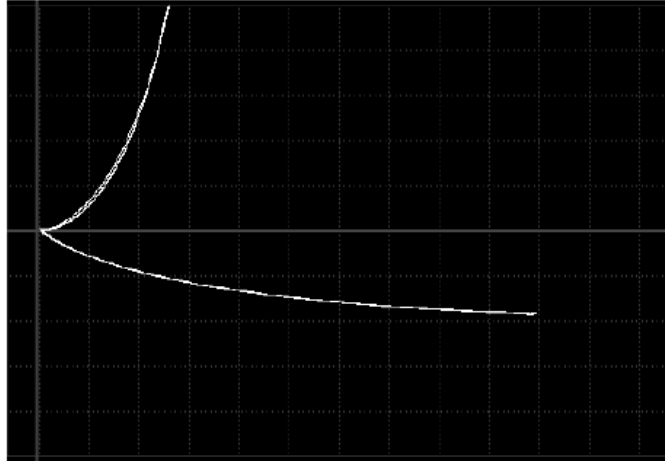


Spesimen Uji Frekuensi 30 kHz

- Spesimen Uji Step 1 Frekuensi 30 khz

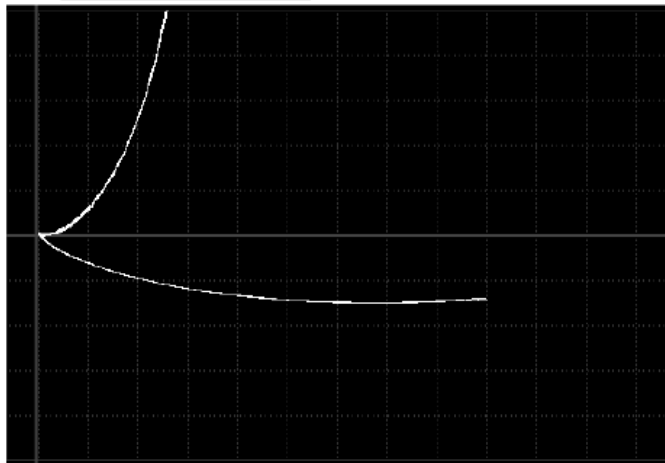
Point 1

θ_{PP} 190.6



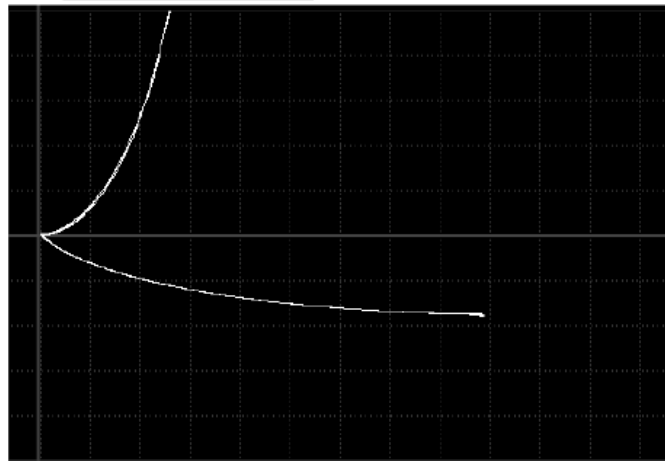
Point 2

θ_{PP} 189.2



Point 3

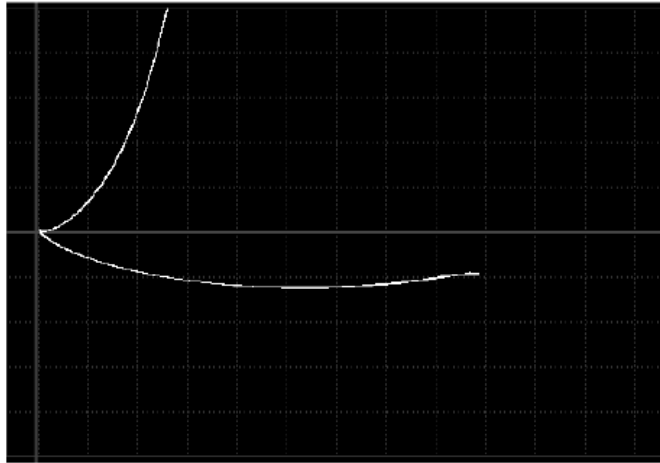
θ_{PP} 191.5



- Spesimen Uji Step 2 Frekuensi 30 khz

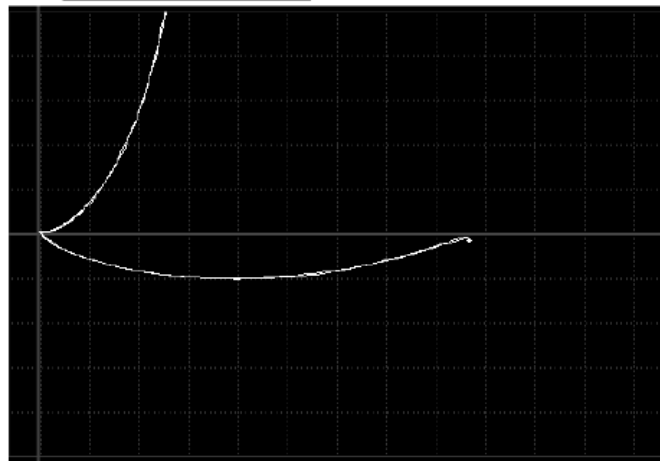
Point 1

$^{\circ}PP$ 186.2



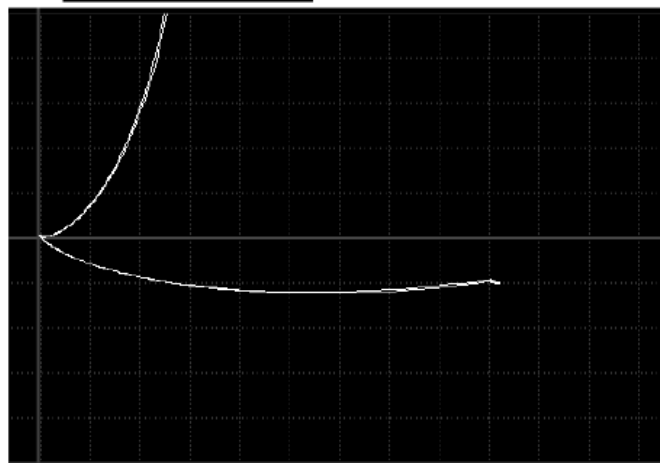
Point 2

$^{\circ}PP$ 181.2



Point 3

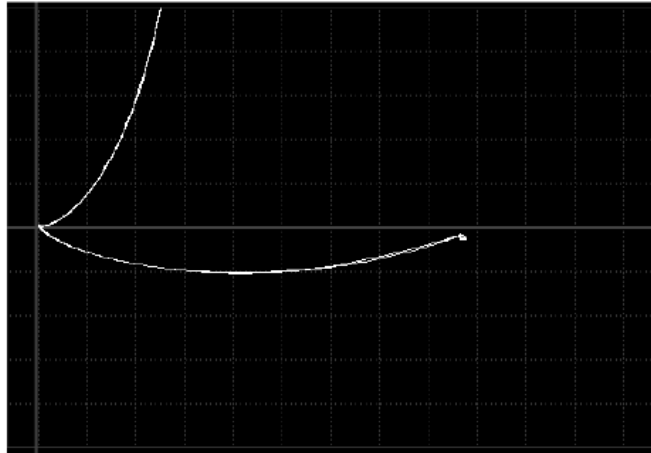
$^{\circ}PP$ 186.4



- Spesimen Uji Step 3 Frekuensi 30 khz

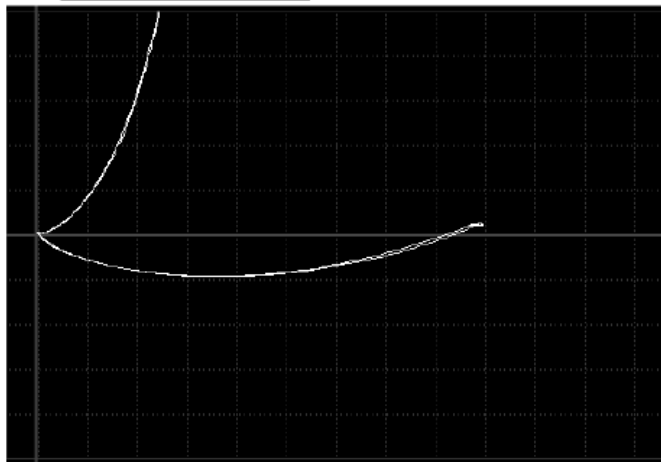
Point 1

$^{\circ}PP$ 181.9



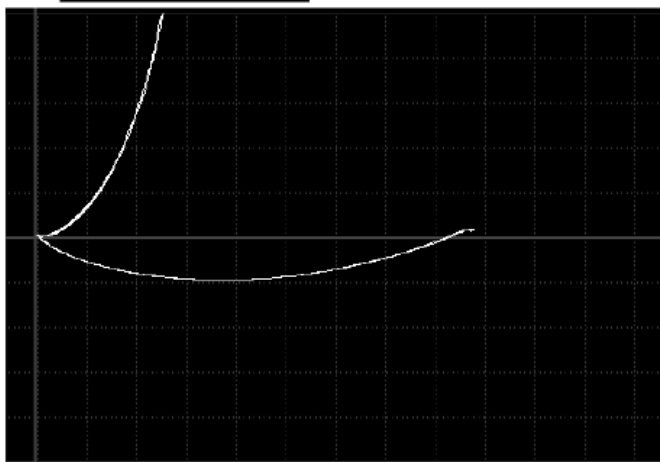
Point 2

$^{\circ}PP$ 178.8



Point 3

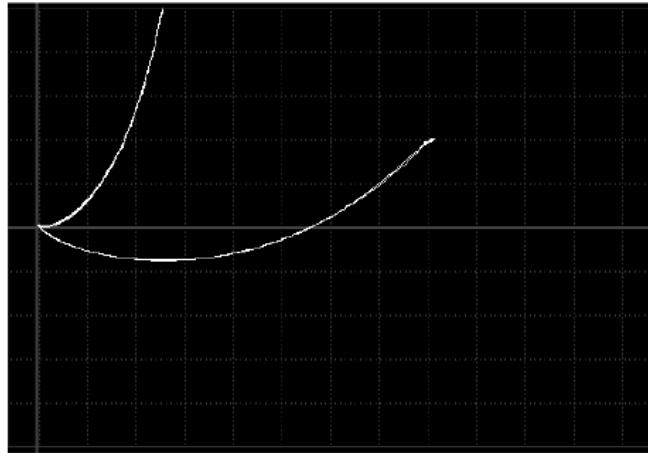
$^{\circ}PP$ 179.0



- Spesimen Uji Step 4 Frekuensi 30 khz

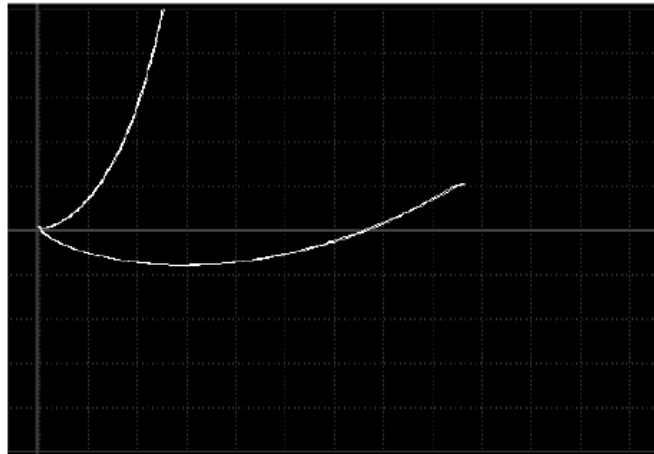
Point 1

$^{\circ}PP$ 166.3



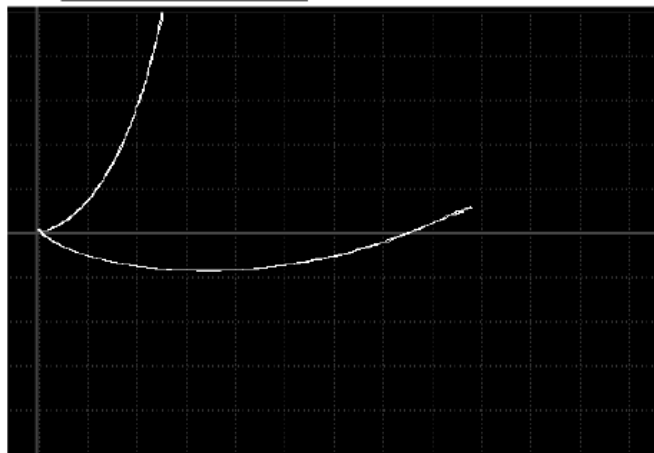
Point 2

$^{\circ}PP$ 173.3



Point 3

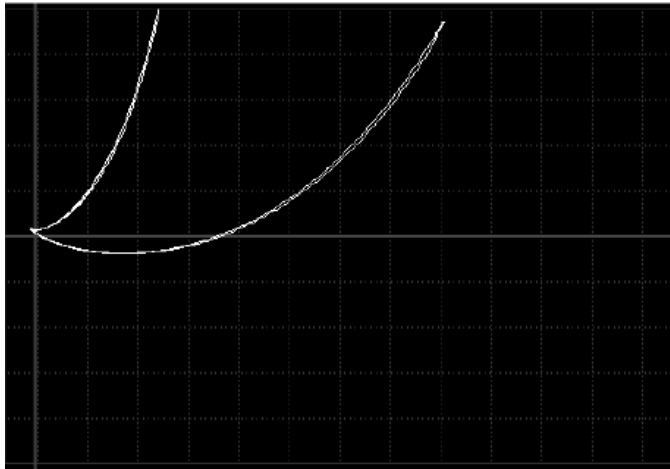
$^{\circ}PP$ 176.5



- Spesimen Uji Step 5 Frekuensi 30 khz

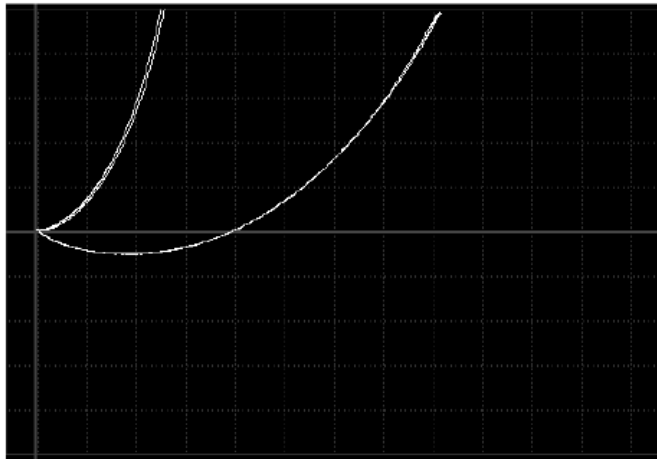
Point 1

°PP 150.0



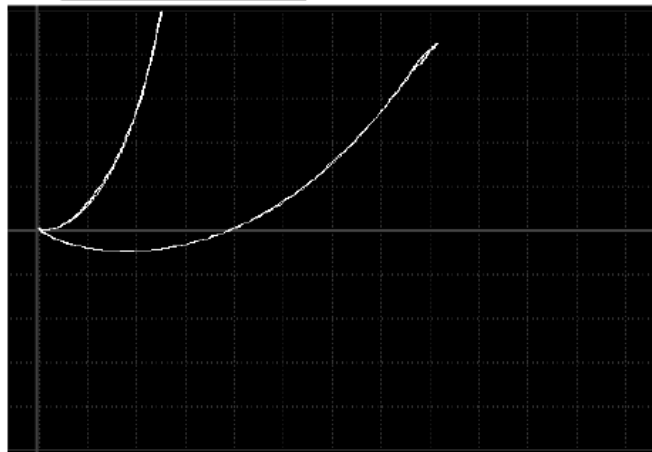
Point 2

°PP 149.0



Point 3

°PP 152.6

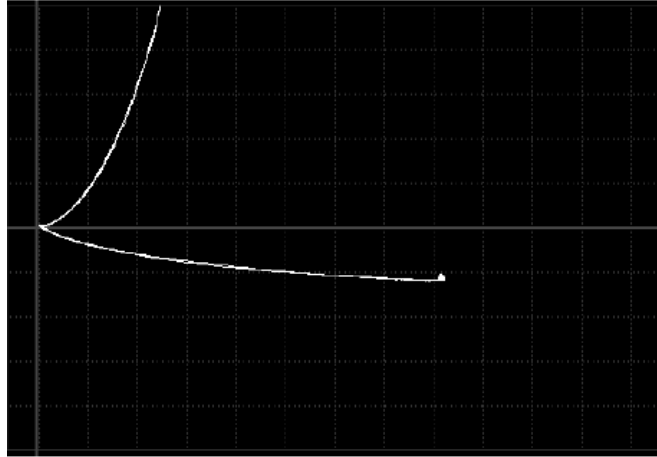


Spesimen Uji Frekuensi 50 kHz

- Spesimen Uji Step 1 Frekuensi 50 khz

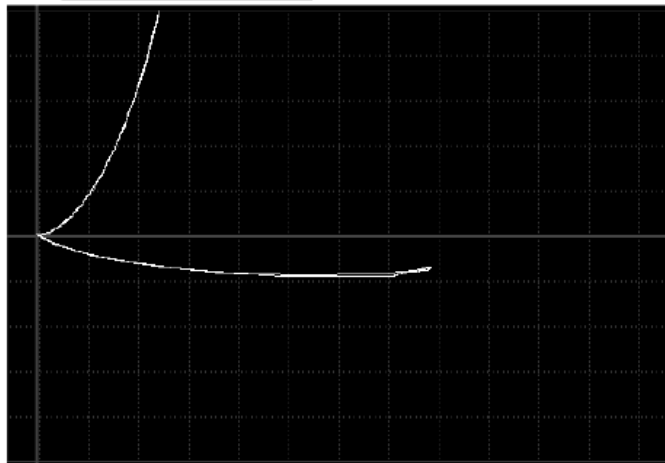
Point 1

ρ_{PP} 188.3



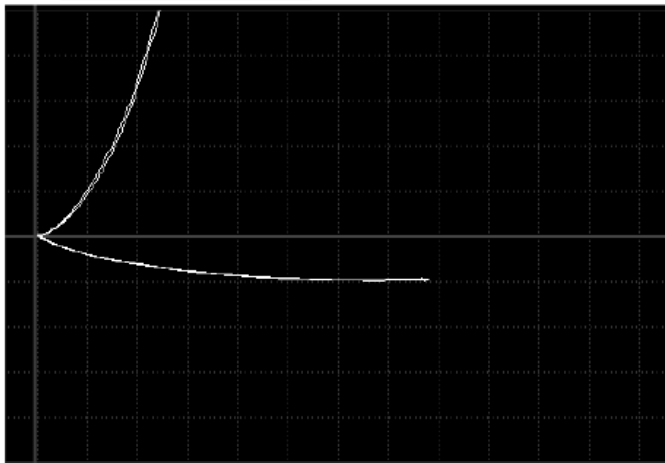
Point 2

ρ_{PP} 185.3



Point 3

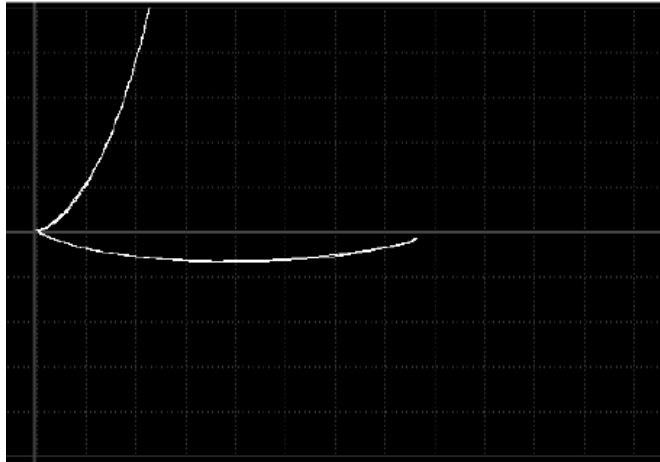
ρ_{PP} 187.2



- Spesimen Uji Step 2 Frekuensi 50 khz

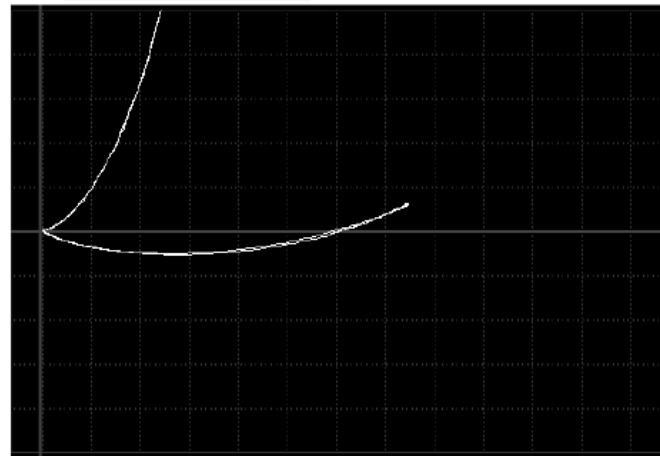
Point 1

$^{\circ}PP$ 181.4



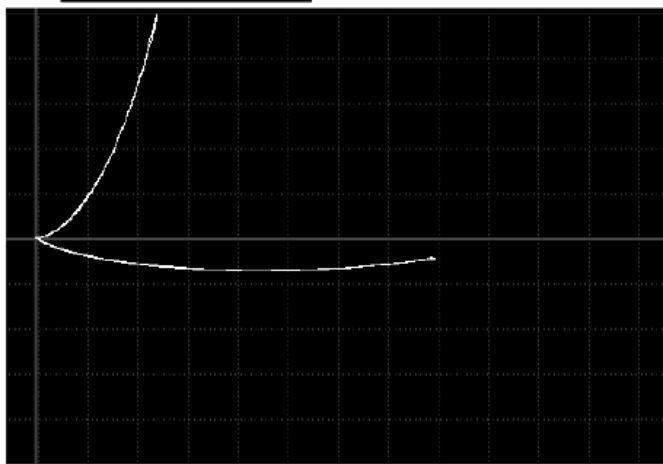
Point 2

$^{\circ}PP$ 175.5



Point 3

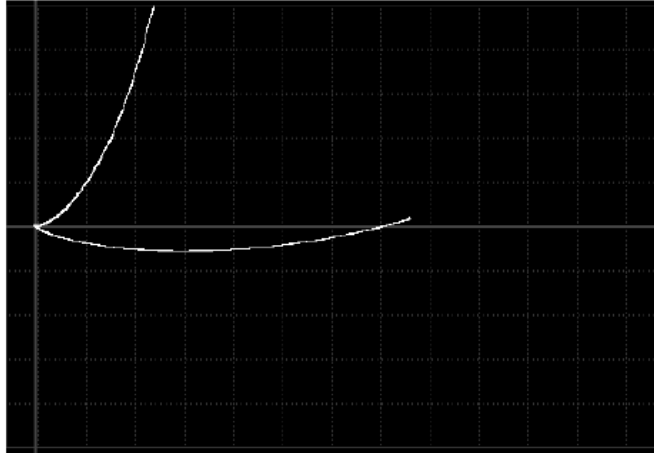
$^{\circ}PP$ 183.4



- Spesimen Uji Step 3 Frekuensi 50 khz

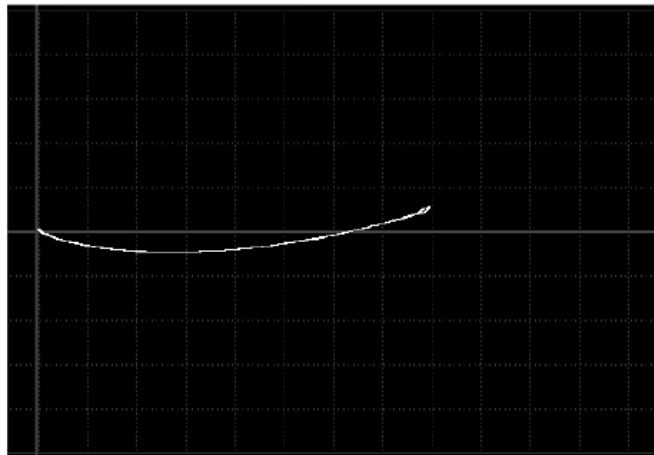
Point 1

$^{\circ}PP$ 178.9



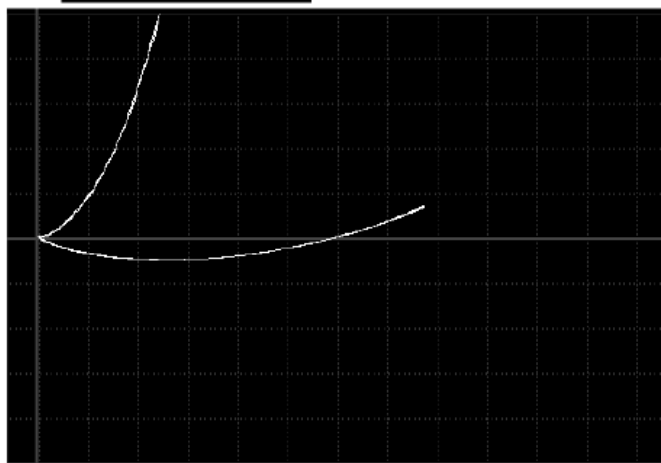
Point 2

$^{\circ}PP$ 176.3



Point 3

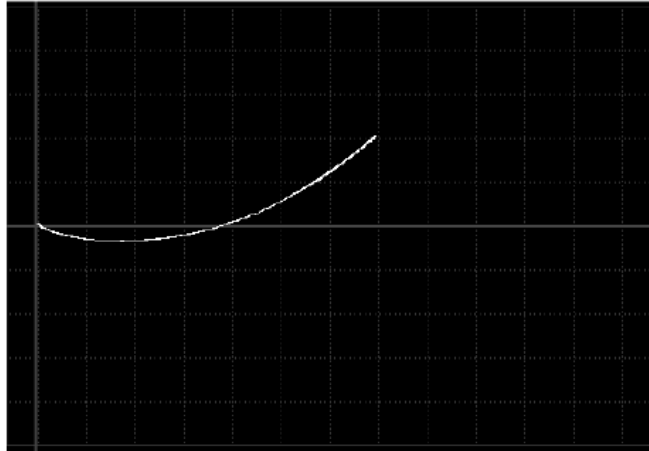
$^{\circ}PP$ 175.0



- Spesimen Uji Step 4 Frekuensi 50 khz

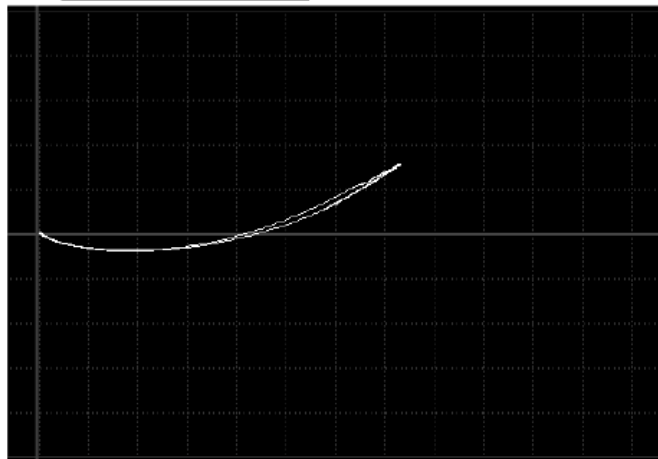
Point 1

°PP 163.7



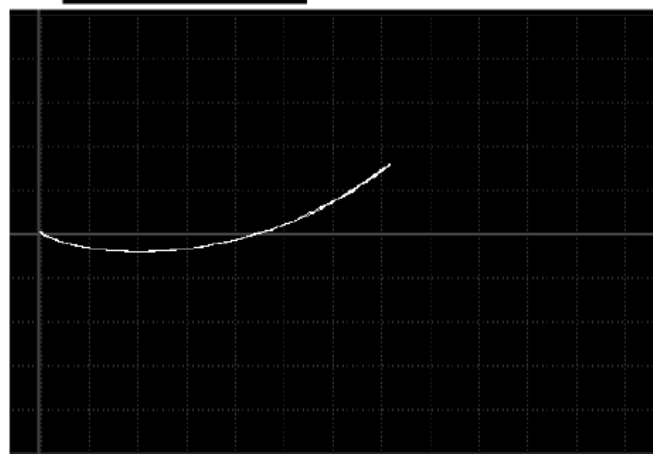
Point 2

°PP 168.1



Point 3

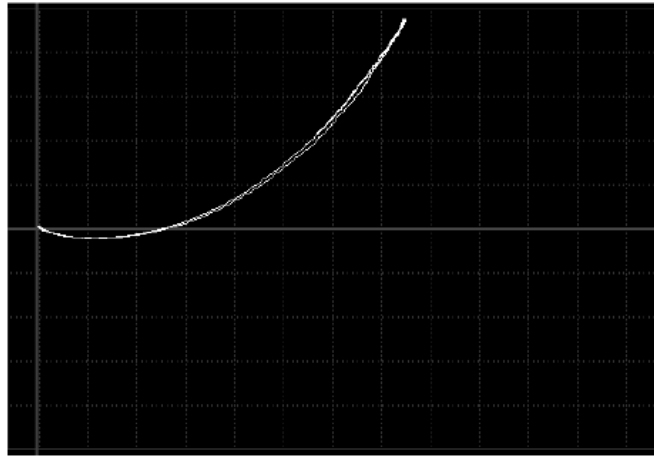
°PP 167.9



- Spesimen Uji Step 5 Frekuensi 50 khz

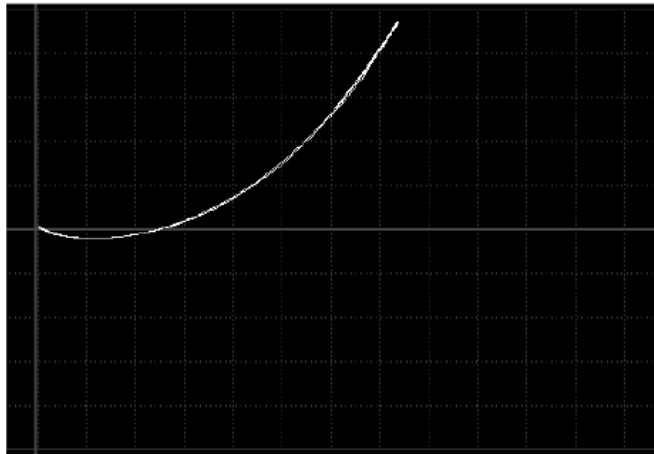
Point 1

°PP 147.8



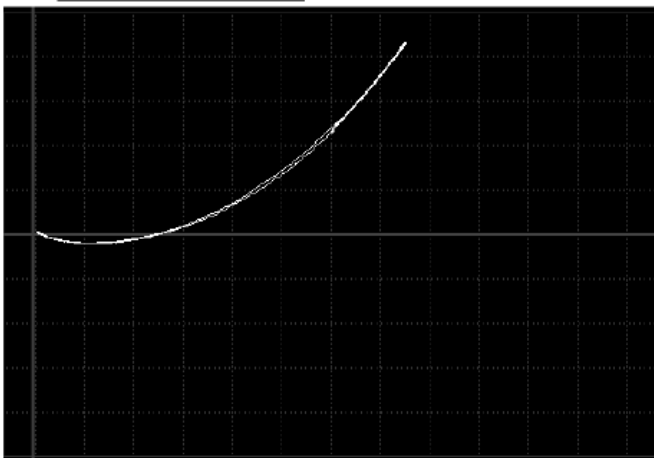
Point 2

°PP 147.7



Point 3

°PP 150.4

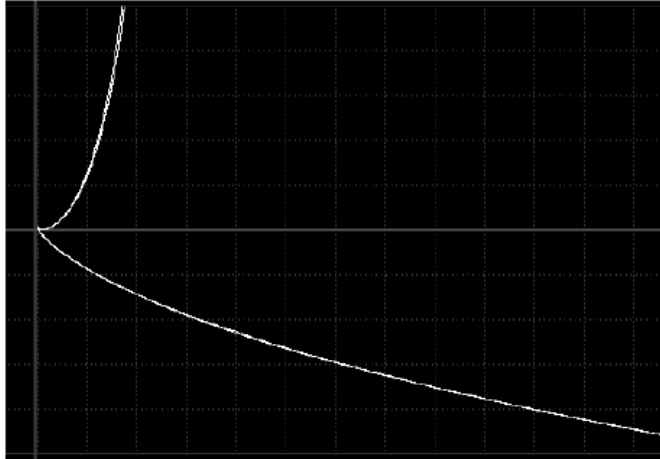


Spesimen Uji Frekuensi 500 kHz

- Spesimen Uji Step 1 Frekuensi 500 khz

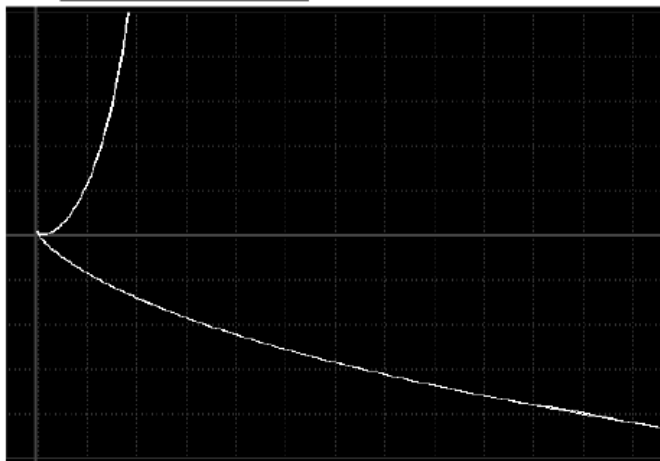
Point 1

$^{\circ}\text{PP}$ 200.1



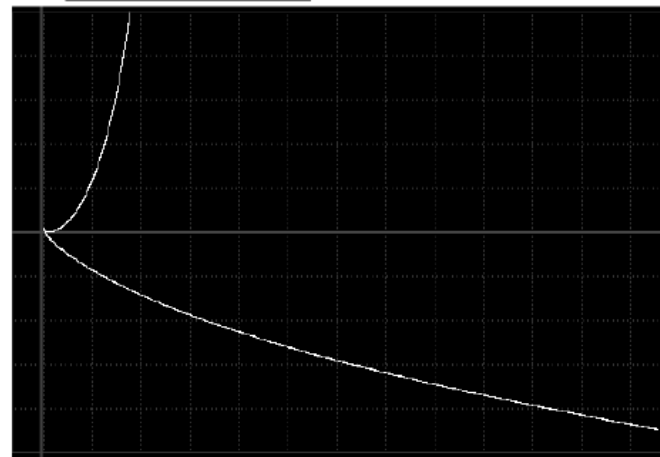
Point 2

$^{\circ}\text{PP}$ 199.0



Point 3

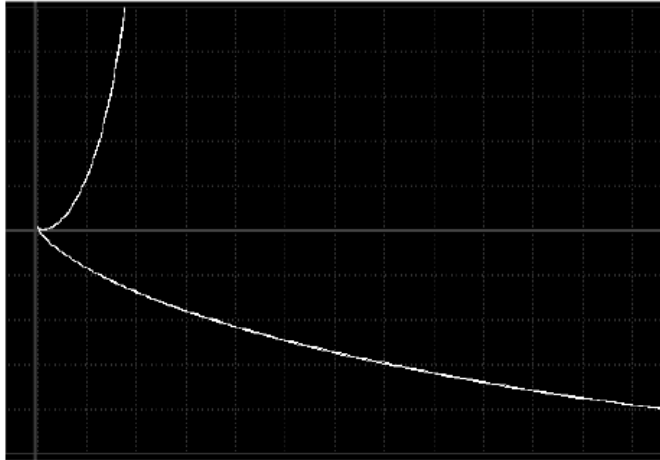
$^{\circ}\text{PP}$ 199.7



- Spesimen Uji Step 2 Frekuensi 500 khz

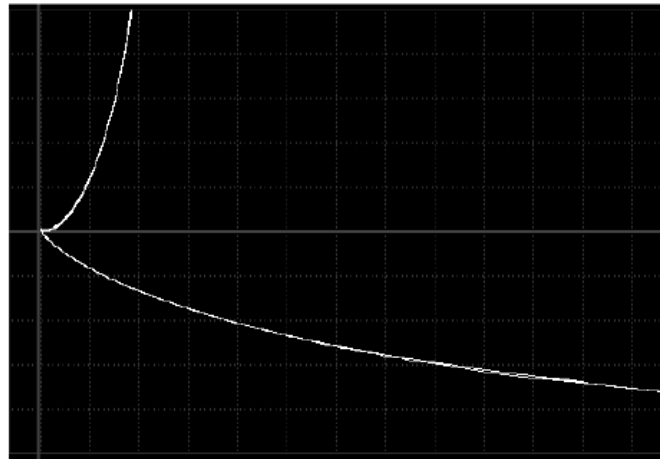
Point 1

$^{\circ}PP$ 197.7



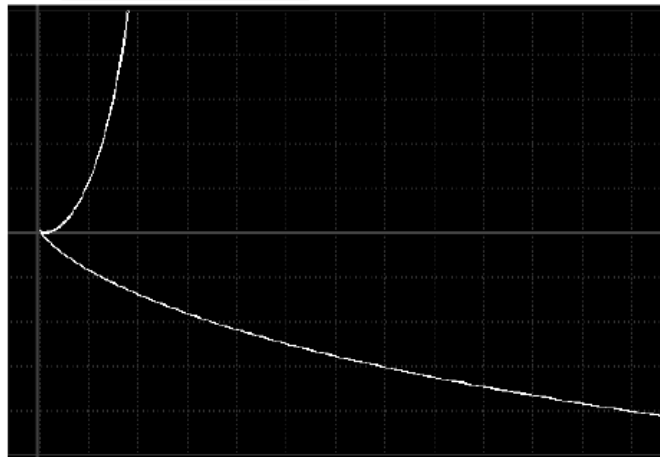
Point 2

$^{\circ}PP$ 196.5



Point 3

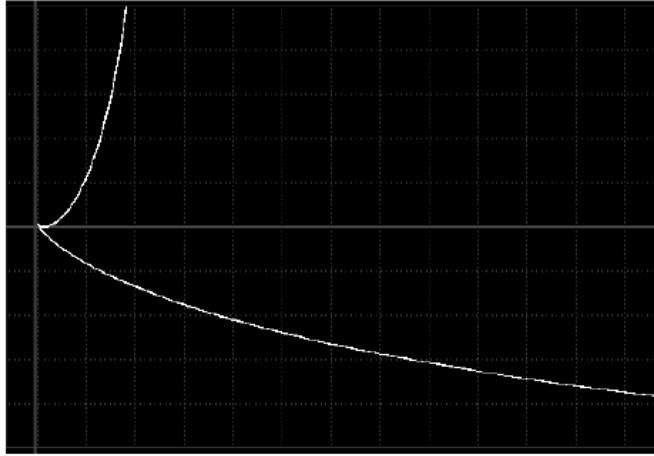
$^{\circ}PP$ 198.4



- Spesimen Uji Step 3 Frekuensi 500 khz

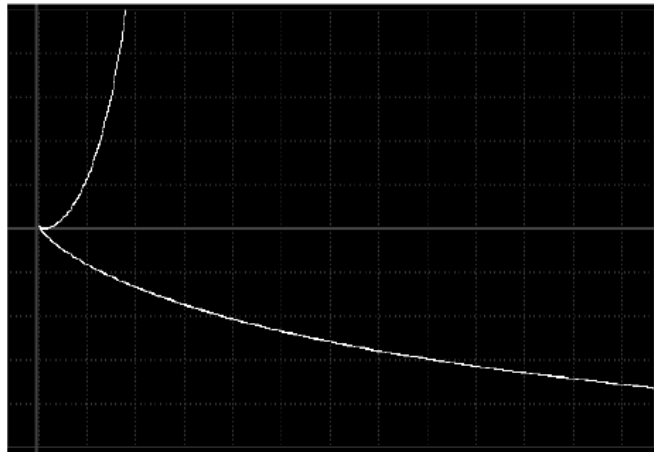
Point 1

°PP 197.5



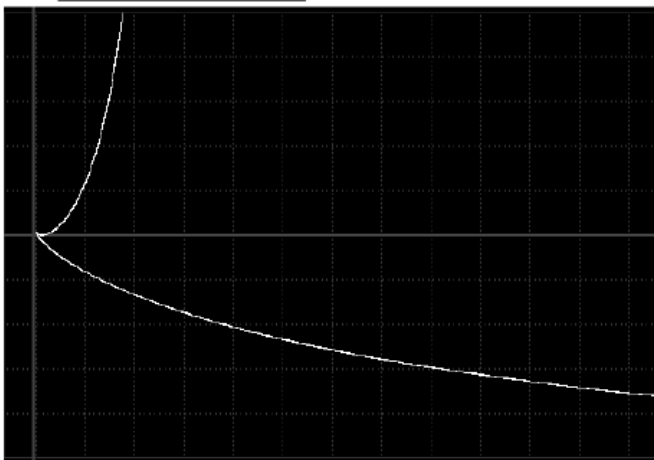
Point 2

°PP 196.3



Point 3

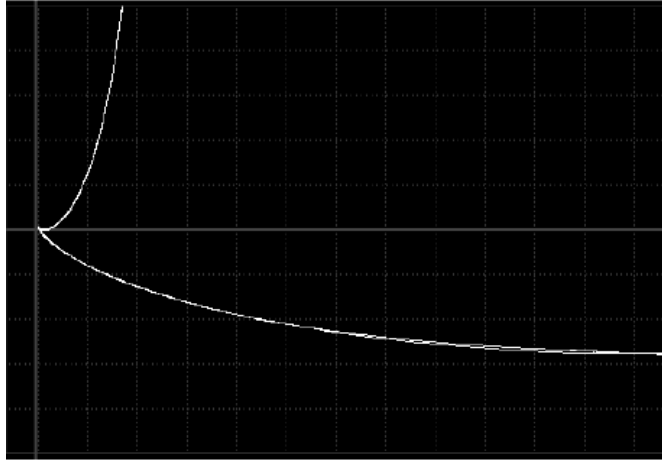
°PP 196.1



- Spesimen Uji Step 4 Frekuensi 500 khz

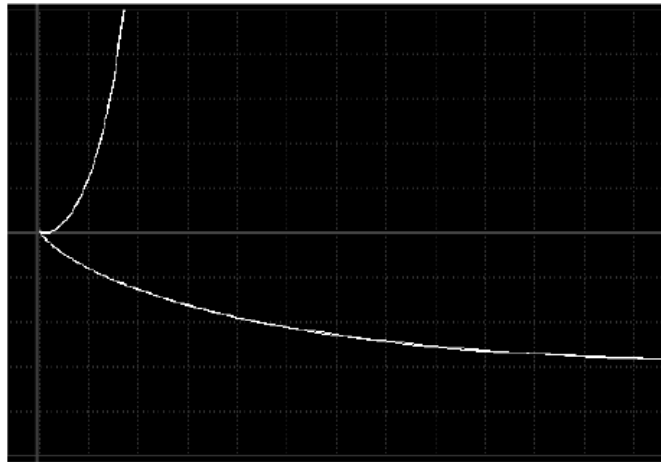
Point 1

ϕ_{PP} 192.6



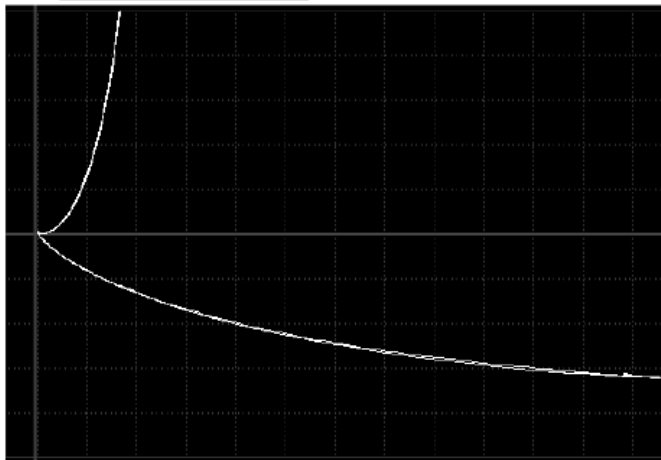
Point 2

ϕ_{PP} 192.8



Point 3

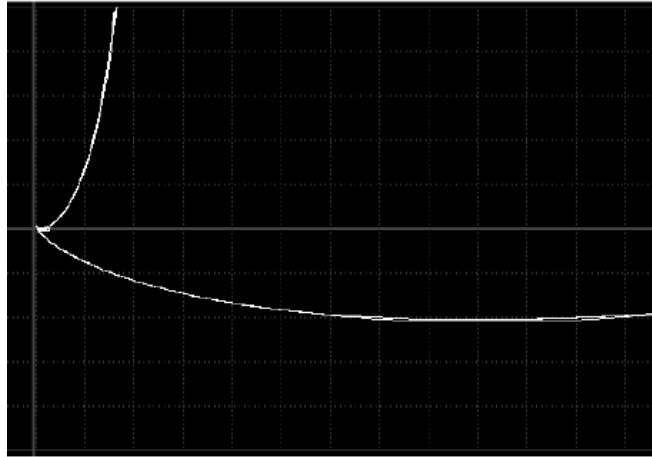
ϕ_{PP} 194.6



- Spesimen Uji Step 5 Frekuensi 500 khz

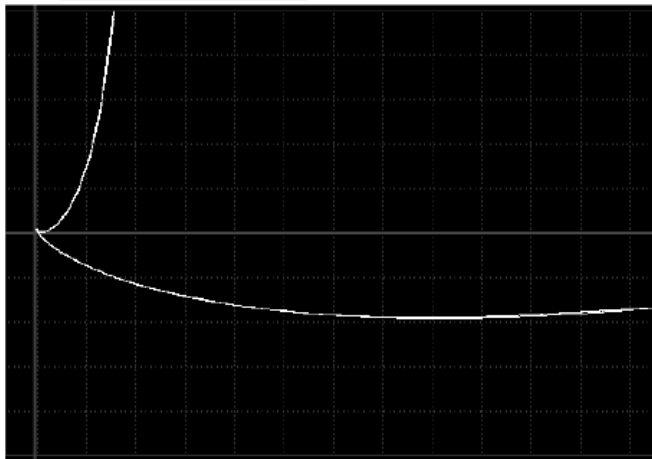
Point 1

°PP 188.9



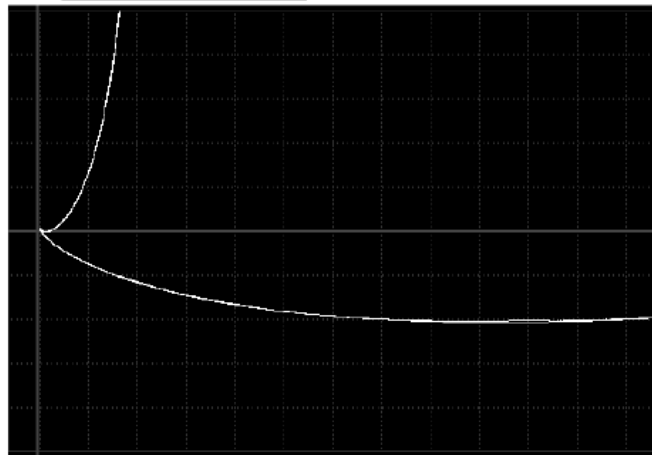
Point 2

°PP 187.7



Point 3

°PP 189.0



BIOGRAFI PENULIS



Kevin Iusela, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Jakarta pada 4 April 1997 silam. Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Maria Yacintha, kemudian melanjutkan ke SD BPK Penabur Indramayu, SMPN 2 Sindang dan SMAN 81 Jakarta. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur Mandiri.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi Kepala Badan Semi Otonom Badan Koordinasi Fakultas Pemandu di BEM FTK ITS pada tahun 2017 dan Anggota Steering Committee Kaderisasi HIMATEKPAL ITS 2017/2018. Selain itu, Penulis juga pernah menjadi LO (*Liaison Officer*) pada SENTA 2016 dan berbagai *event* Pelatihan Manajemen Mahasiswa di ITS seperti LKMM Pra-TD, LKMM TD dan PP LKMM.. Pada Juli 2018, untuk menyelesaikan syarat studinya penulis melaksanakan Kerja Praktik pertama di PT. Daya Radar Utama Unit III yang berlokasi di Lampung dan pada Juli 2019 penulis melaksanakan Kerja Praktik kedua di PT. Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Cabang Utama Tanjung Priok yang berlokasi di Jakarta.

E-mail: keviniusela69@gmail.com