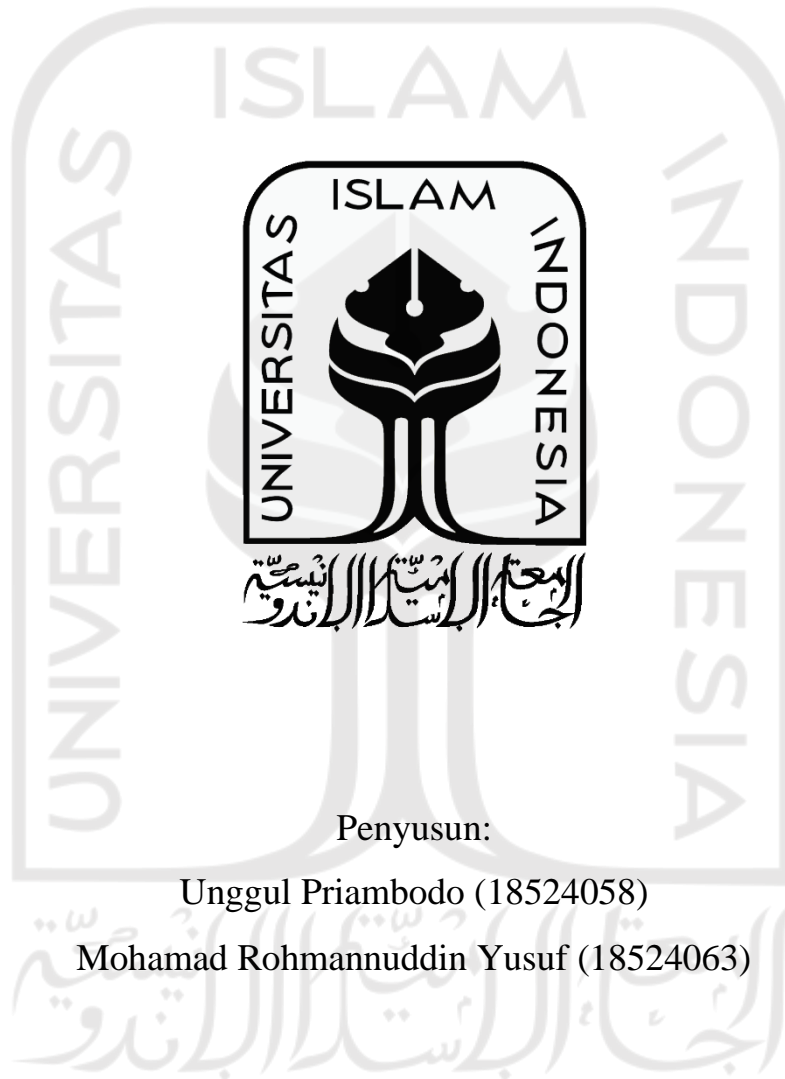


# LAPORAN TUGAS AKHIR

## **SIECu-Pi : Sistem Instrumentasi Berbasis *Eddy Current* pada *Pipeline Inspection Gauge* (PIG) untuk Mengukur Ketebalan Pipa**



Penyusun:

Unggul Priambodo (18524058)

Mohamad Rohmannuddin Yusuf (18524063)

**Program Studi Teknik Elektro**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Universitas Islam Indonesia**

**Yogyakarta**

**2022**

# HALAMAN PENGESAHAN

SIECu-Pi : Sistem Instrumentasi Berbasis *Eddy Current*  
pada *Pipeline Inspection Gauge* (PIG) untuk Mengukur  
Ketebalan Pipa

Penyusun:

Unggul Priambodo (18524058)

Mohamad Rohmannuddin Yusuf (18524063)

Yogyakarta, 25 Juli 2022

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dr. Hasbi Nur Prasetyo Wisudawan, S.T., M.T.

025240101

195240101

**Program Studi Teknik Elektro**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Universitas Islam Indonesia**

**Yogyakarta**

**2022**

# LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

SIECu-Pi : Sistem Instrumentasi Berbasis *Eddy Current*

pada *Pipeline Inspection Gauge (PIG)* untuk Mengukur Ketebalan Pipa




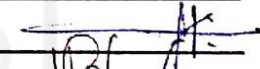
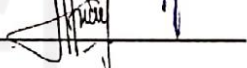
Disusun oleh:

**Unggul Priambodo** 18524058

**Mohamad Rohmannuddin Yusuf** 18524063

Telah dipertahankan di depan dewan penguji  
pada tanggal: 4 Agustus 2022

الجمعة الإسلامية الإندونيسية  
Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., Ph.D.   
Anggota Penguji 1 : Ir. Medilla Kusriyanto, S.T., M.Eng., IPM.   
Anggota Penguji 2 : Budi Haryono 

Tugas akhir ini telah disahkan sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal: 10 Agustus 2022

Program Studi Teknik Elektro



**M. Nurullah, S.T., M.Eng., Ph.D.**

045240101

## PERNYATAAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjaan di suatu perguruan tinggi lainnya, dan sepanjang pengetahuan kami juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Tugas Akhir yang terkait hak milik, hak intelektual, paten merupakan milik bersama antara tiga pihak, yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Tugas Akhir terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut di atas.

Yogyakarta, 10 Agustus 2022



Unggul Priambodo (18524058)



Mohamad Rohmannuddin Yusuf (18524063)

## DAFTAR ISI

<i>HALAMAN PENGESAHAN</i> .....	2
<i>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR</i> .....	3
<i>PERNYATAAN</i> .....	4
<i>DAFTAR ISI</i> .....	5
<i>RINGKASAN TUGAS AKHIR</i> .....	7
<i>BAB 1 : Definisi Permasalahan</i> .....	8
<i>BAB 2 : Observasi</i> .....	11
<i>BAB 3 : Usulan Perancangan Sistem</i> .....	16
3.1 Usulan Rancangan Sistem .....	16
3.1.1 <i>Empathize</i> .....	16
3.1.2 <i>Define</i> .....	16
3.1.3 <i>Ideate</i> .....	17
3.1.4 <i>Prototype</i> .....	17
3.1.5 <i>Test</i> .....	17
3.2 Metode Uji Coba dan Pengujian Usulan Rancangan Sistem .....	25
3.2.1 Uji Coba di Laboratorium .....	25
3.2.2 Kalibrasi Sensor .....	25
3.2.3 Pengujian di CV. Krakret Technology .....	26
<i>BAB 4 : Hasil Perancangan Sistem</i> .....	28
4.1 Kesesuaian Usulan dan Hasil Perancangan Sistem .....	28
4.2 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya .....	29
4.3 Analisis dan Pembahasan Kesesuaian antara Perencanaan dan Realisasi.....	30
<i>BAB 5 : Implementasi Sistem dan Analisis</i> .....	32
5.1 Uji Coba di Laboratorium .....	32
5.1.1 Uji Coba Pembangkit Sinyal.....	32
5.1.2 Uji Coba <i>Excitation Coil</i> .....	33
5.1.3 Uji Coba Sistem <i>Data Logger</i> .....	33
5.2 Kalibrasi Sensor .....	34
5.3 Pengujian di CV. Krakret Technology .....	43
5.4 Dampak Implementasi Sistem .....	45
5.4.1 Teknologi/Inovasi .....	45
5.4.2 Ekonomi .....	46
5.4.3 Lingkungan.....	46
<i>BAB 6 : Kesimpulan dan Saran</i> .....	47
6.1 Kesimpulan.....	47
6.2 Saran .....	48

*Daftar Pustaka*.....49  
*LAMPIRAN – LAMPIRAN*.....51



## RINGKASAN TUGAS AKHIR

Sistem instrumentasi inspeksi pipa dibutuhkan dalam industri Minyak dan Gas Bumi untuk mengetahui kondisi apakah terdapat keretakan maupun perubahan ketebalan pada pipa distribusi. Hal ini sangat bermanfaat sebagai pencegahan sebelum pipa distribusi mengalami kebocoran yang dapat mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian. SIECu-Pi merupakan sistem instrumentasi berbasis *eddy current* yang dirancang untuk mendeteksi perubahan ketebalan pada pipa berbahan logam. Dalam implementasinya, SIECu-Pi dapat dipasang pada *Pipeline Inspection Gauge* (PIG). SIECu-Pi menggunakan baterai *Li-Ion* 24 VDC sebagai catu daya, modul DDS AD9850 sebagai *wave generator*, rangkaian VCCS sebagai konverter sumber tegangan menjadi sumber arus, *excitation coil* dari lilitan kawat tembaga, sensor *Giant Magnetoresistance* (GMR) sebagai *receiver* atau pembaca perubahan sinyal *eddy current*, penguat INA125, mikrokontroler Arduino DUE dan mikro SD sebagai media penyimpanan data hasil pembacaan.

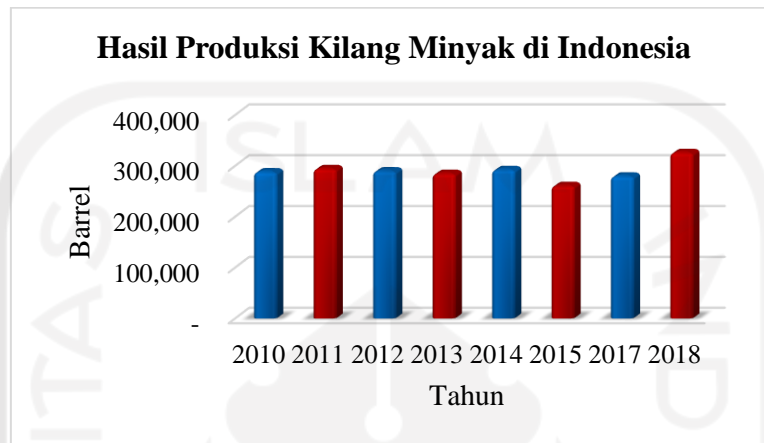
SIECu-Pi mampu mendeteksi perubahan ketebalan pipa dengan akurasi 1 mm, dibuktikan dengan hasil uji coba laboratorium yang telah dilakukan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan empat buah sensor. Hasil pengujian menunjukkan karakteristik sensor yang dibuat memiliki karakteristik berbeda. Karakteristik hasil pembacaan sensor dituliskan dalam persamaan regresi linier. Hasil pembacaan masing-masing sensor memiliki nilai *error* yang berbeda-beda. Sensor 1 memiliki *error* sebesar 4.9472%, sensor 2 sebesar 3.7107%, sensor 3 sebesar 1.7033%, dan sensor 4 sebesar 2.5189%. Nilai *error* pembacaan masing-masing sensor masih dibawah toleransi *error* yang diusulkan yaitu 5%. Namun, dari hasil pengujian pada pipa di CV. Krakret Technology mendapatkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan pengujian laboratorium. Pada kedalaman lubang yang sama memiliki nilai pembacaan sensor berbeda. Perbedaan nilai pembacaan disebabkan pengujian pada pipa yang berbeda dapat menghasilkan pembacaan yang berbeda. Hal tersebut wajar terjadi pada inspeksi pipa, sehingga pada praktiknya dilakukan kalibrasi sebelum inspeksi dilakukan. Hasil pembacaan alat memiliki rata-rata *error* sebesar 2.6837%.

Implementasi SIECu-Pi memiliki dampak pada bidang teknologi/inovasi, ekonomi dan lingkungan. Pada bidang teknologi/inovasi berdampak pada adanya inovasi baru penggunaan instrumentasi berbasis sensor GMR pada PIG. Pada bidang ekonomi, implementasi SIECu-Pi dapat menekan biaya operasional inspeksi pipa konvensional, selain itu pembuatan SIECu-Pi dapat menjadi alternatif pembuatan sistem inspeksi pipa berbasis *eddy current* dengan biaya terjangkau. Pada bidang lingkungan memiliki pengaruh positif sebagai upaya pencegahan adanya kebocoran pipa yang bisa menyebabkan pencemaran lingkungan.

الجامعة الإسلامية  
الاستاذ الدكتور

## BAB 1 : Definisi Permasalahan

Indonesia memiliki sumber daya alam berupa Minyak dan Gas Bumi (MIGAS) yang sangat melimpah. Sehingga mendorong berdirinya industri MIGAS di Indonesia. Hasil produksi kilang minyak dan gas berupa bahan bakar minyak dan bahan bakar bukan minyak. Berdasarkan data Badan Pusat Statistika 2020 menunjukkan bahwa hasil kilang minyak dari tahun 2010 hingga 2018 seperti Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Grafik hasil produksi kilang minyak di Indonesia [1]

Sampai saat ini jumlah industri MIGAS di Indonesia yang terdaftar sebagai badan usaha pengolahan MIGAS sebanyak 27 industri dan terdaftar badan usaha pemegang izin usaha sementara pengolahan MIGAS sebanyak 13 industri [2]. Di lingkungan industri kilang pengolahan MIGAS keberadaan instalasi perpipaan menjadi hal yang penting, bahkan instalasi perpipaan tersebut mendominasi dari seluruh peralatan lainnya di kilang minyak sebesar 30-35% [3]. Perpipaan ini menjadi hal yang sangat penting karena berfungsi untuk menyalurkan fluida baik berupa cairan maupun gas dari lokasi satu ke lokasi lain. Dikarenakan fungsi dari perpipaan pada industri MIGAS sangat penting, maka perlu adanya perawatan khusus agar kondisi operasi dan proses produksi berjalan dengan baik.

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2018 tentang pemeriksaan keselamatan instalasi dan peralatan pada kegiatan usaha Minyak dan Gas Bumi. Pada BAB III Pasal 6 Ayat 1 menerangkan bahwa untuk menjamin keselamatan instalasi dan peralatan yang digunakan dalam kegiatan usaha Minyak dan Gas Bumi wajib dilakukan inspeksi dan pemeriksaan keselamatan. Pada BAB III Pasal 14 Ayat 1 menerangkan bahwa terhadap instalasi yang dilakukan pemeriksaan keselamatan secara berkala berdasarkan jangka waktu tertentu, memiliki masa berlaku persetujuan layak operasi paling lama empat tahun [4].



Suatu cara yang dapat dilakukan untuk perawatan perpipaan disebut inspeksi pipa. Inspeksi pipa berfungsi untuk mengetahui adanya korosi, *crack*, cekungan, dan ketebalan pada pipa. Salah satu permasalahan yang terjadi pada perpipaan industri kilang minyak adalah berkurangnya ketebalan pada pipa. Sesuai dengan kriteria yang ada pada DNV-RP-F101 menjelaskan bahwa ketebalan pipa minimum yang diizinkan akibat korosi adalah 70% dari ketebalan [5]. Dampak dari berkurangnya ketebalan pipa dapat mengganggu operasi penyaluran fluida. Ada dua jenis inspeksi pipa yaitu inspeksi pipa dari bagian luar dan inspeksi pipa dari bagian dalam. Untuk inspeksi pipa bagian dalam teknologi yang sekarang digunakan yaitu *Pipeline Inspection Gauge* (PIG). Pada inspeksi pipa banyak metode yang digunakan salah satunya yaitu metode dengan menggunakan *eddy current*. Metode *Eddy Current* (EC) menggunakan perubahan arus listrik pada material yang sifatnya konduktor yang dihubungkan dengan magnet yang dapat memberikan induksi. *Eddy current* diciptakan melalui proses yang disebut induksi elektromagnetik. Ketika arus bolak balik (AC) dialirkan pada suatu penghantar listrik, seperti kawat tembaga, maka akan tercipta medan magnet di sekitar penghantar tersebut. Medan magnet tersebut meluas sebagai arus bolak-balik (AC) naik hingga maksimum dan turun sebagai arus yang direduksi menjadi nol. Jika penghantar listrik lainnya dibawa ke dekat medan magnet yang berubah-ubah, arus akan diinduksikan pada penghantar kedua tersebut [6].

Semakin banyak industri MIGAS yang berkembang membuat kebutuhan akan inspeksi pipa juga meningkat. Karena inspeksi pipa sangat penting dilakukan agar sistem operasi perpipaan pada industri dapat terjamin. Pipa akan mengalami perubahan kondisi ketika digunakan salah satunya yaitu perubahan ketebalan pada pipa. Berdasarkan paparan tersebut, maka didapatkan **rumusan masalah** bahwa dibutuhkan suatu instrumentasi untuk mengetahui bagaimana cara mengukur ketebalan pipa. Adapun sistem instrumentasi yang dimaksud berupa sistem berbasis *eddy current* yang terdiri dari sensor dan komponen pendukung sensor. Sistem instrumentasi yang dibuat nantinya dipasang pada PIG.

Sistem instrumentasi yang dibuat memiliki **batasan realistis** yaitu untuk mengukur ketebalan pipa berbahan logam, sistem elektronik terpasang kuat pada PIG dan tempat sistem elektronik pada PIG kedap air. **Batasan masalah** pada sistem yang dibuat adalah untuk mengukur ketebalan pipa dari bagian dalam ketika sistem distribusi MIGAS berhenti beroperasi, ukuran pipa memiliki ukuran diameter 273 mm dan ketebalan 9.27 mm, serta tidak dapat mengetahui letak PIG secara langsung pada saat inspeksi.

Tujuan dari tugas akhir adalah membuat sistem instrumentasi inspeksi pipa untuk mengukur perubahan ketebalan pipa menggunakan prinsip *eddy current* yang berbeda dengan alat yang sudah ada. Perbedaan ini terletak pada biaya pembuatan yang lebih terjangkau, namun memiliki hasil pembacaan yang tidak jauh berbeda dengan alat yang sudah ada.

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir adalah dalam dunia akademik diharapkan hasil dari tugas akhir dapat dijadikan sebagai referensi untuk mengetahui dan mengembangkan aplikasi metode *eddy current* guna mengukur perubahan ketebalan pipa berbahan logam. Serta dapat diimplementasikan pada dunia inspeksi pipa.



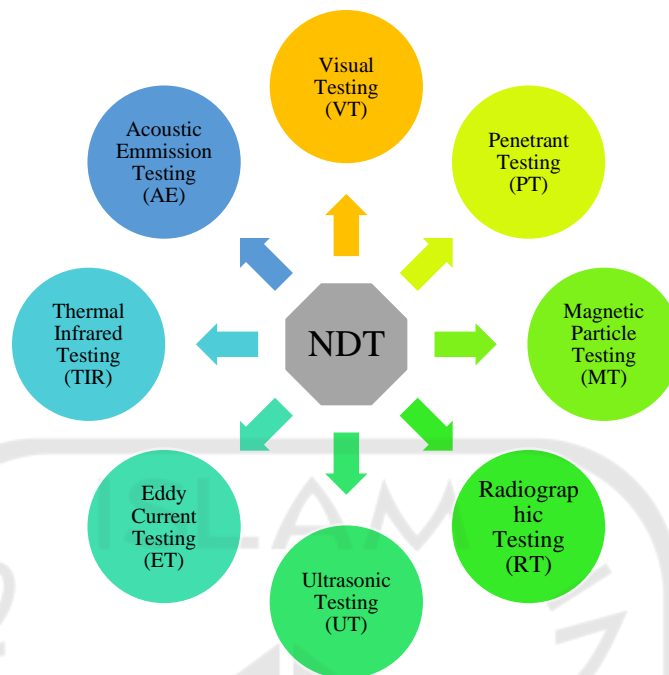
## BAB 2 : Observasi

Proses observasi dilakukan dengan cara mencari studi literatur terkait inspeksi pipa meliputi metode-metode yang telah digunakan hingga saat ini, dasar teori yang mendukung inspeksi pipa menggunakan metode pembacaan *eddy current*, serta meninjau jurnal penelitian terdahulu mengenai pengujian *defect* pada bahan logam menggunakan *eddy current*.

Teknik dalam melakukan inspeksi perpipaan secara umum ada dua jenis yaitu teknik inspeksi secara *off-stream* dan teknik inspeksi secara *on-stream*. Pada teknik inspeksi *off-stream* melakukan pemeriksaan secara visual, sedangkan teknik inspeksi *on-stream* dengan melakukan uji secara *Non Destructive Test* (NDT) dimana Teknik ini dilakukan tanpa merusak material uji untuk mengetahui kondisinya [3]. Dalam perkembangannya, NDT pada inspeksi pipa saat ini menggunakan *Pipeline Inspection Gauge* (PIG). PIG merupakan suatu alat yang digunakan dalam melakukan *pigging* atau inspeksi pipa menggunakan metode NDT yang aman secara intrinsik. PIG dapat bergerak secara otomatis di dalam pipa menggunakan tekanan dari fluida sehingga memiliki kecepatan tertentu. PIG berfungsi untuk menyelesaikan berbagai tugas seperti mengukur ketebalan pipa, deteksi korosi, menghilangkan *slug* dan lilin [7]. Hasil pengukuran yang dilakukan oleh PIG disimpan dalam sebuah memori yang nantinya akan dilakukan pengolahan dan analisis pada waktu yang berbeda.

Menurut Mart, dkk [7] dijelaskan bahwa teknik NDT lebih banyak digunakan untuk melakukan inspeksi pipa di industri, karena teknik ini tidak diperlukan kontak antara benda uji dan sensor. *Non-Destructive Testing* (NDT) merupakan suatu metode pemeriksaan, pengujian atau penilaian yang dilakukan pada benda uji tanpa mengganti atau mengubah benda uji dengan cara apapun [8]. Tujuan dari NDT adalah untuk menentukan ada atau tidaknya anomali maupun diskontinuitas yang terjadi pada benda uji. NDT juga dapat digunakan untuk mengukur karakteristik benda uji lainnya, misal ukuran, dimensi, paduan kandungan, kekerasan benda uji dan lain-lain.

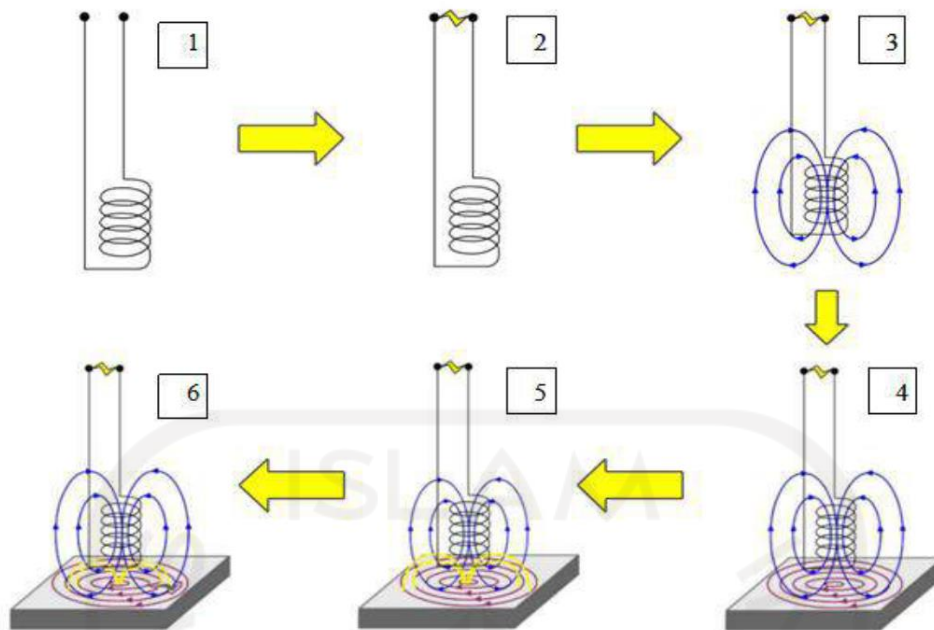
NDT merupakan teknik yang telah mengalami pertumbuhan yang sangat signifikan. Bahkan, saat ini dianggap sebagai salah satu teknologi paling cepat berkembang. Terdapat delapan metode NDT yang terus berkembang dari waktu ke waktu. Delapan metode tersebut disebutkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Macam-macam metode NDT

Terdapat dua komponen penting dalam metode NDT yaitu adanya *transmitter* (TX) dan *receiver* (RX). *Transmitter* berfungsi untuk membangkitkan, memancarkan atau menembakkan sinyal uji sesuai metode NDT yang digunakan. *Receiver* berfungsi untuk menangkap sinyal uji yang dikembalikan oleh benda uji. Dari delapan metode NDT pada Gambar 2.1 teknik pengujian *eddy current* merupakan salah satu pengujian NDT yang paling banyak digunakan saat ini, karena sensor *eddy current* tidak sensitif terhadap kotoran, debu, kelembaban, minyak atau bahan dielektrik dan tidak terpengaruh suhu saat beroperasi [7].

Teknik pengujian *eddy current* menggunakan prinsip elektromagnetik. Dimana terdapat penghantar listrik atau kawat tembaga dialiri arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi tertentu akan menciptakan medan magnet di sekitar kawat penghantar tersebut. Jika kawat penghantar didekatkan pada benda uji, maka medan magnet akan terinduksi pada benda uji sehingga muncul *eddy current* pada benda uji. Medan magnet tersebut akan berubah ketika terdapat cacat yang menghambat *eddy current* atau ada perubahan konduktivitas listrik, permeabilitas magnetik atau ketebalan sampel [9]. Pengujian menggunakan metode *eddy current* dijelaskan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema metode *eddy current* [6]

Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, dalam metode NDT terdapat dua komponen penting yaitu adanya *transmitter* dan *receiver*. Begitu juga dalam penggunaan *eddy current* sebagai NDT. *Transmitter* berupa kumparan pembangkit *eddy current*, sedangkan *receiver* dapat berupa sensor coil atau sensor magnetik [10]. Beberapa jenis sensor magnetik yang dapat digunakan sebagai *receiver* dalam metode *eddy current* beserta perbandingan masing-masing sensor dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbandingan sensor *eddy current* [11]

Sensor	CT	Rogowski	Shunt	FOCT	Fluxgate	Hall	GMR
Ukuran	besar	kecil	Kecil	kecil	besar	kecil	Kecil
Harga	mahal	murah	Murah	Sangat mahal	mahal	murah	Murah
Rentang Frekuensi	0,05-10 kHz	0,1-100 MHz	kHz-MHz	~300 MHz	~100 khz	~1 Mhz	~5 Mhz
Sensitivitas	1 V.A <sup>-1</sup>	10 mV.A <sup>-1</sup>	1 mV.A <sup>-1</sup>	high	high	10 Oe	0,01 Oe
Non-linieritas	0,05%	0,05%	0,01%	0,2%	0,001-0,5%	0,1-1%	0,01-0,05%

Penelitian mengenai instrumentasi yang digunakan untuk melakukan NDT sudah banyak dilakukan. Referensi yang memiliki kemiripan dengan solusi yang akan dirancang untuk menyelesaikan permasalahan yang telah dirumuskan pada bab satu dituliskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kumpulan solusi yang identik dengan proyek tugas akhir

Penulis	Usulan Solusi	Hasil / Evaluasi
Piao, dkk (2019) [12]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeksi <i>defect</i> pada pipa dengan kecepatan tinggi menggunakan metode PEC dan MFL. (sensor <i>coil</i> dan sensor hall).</li> <li>• Sistem dipasang pada PIG dengan jumlah 45 sensor.</li> </ul>	Hall sensor dan sensor <i>coil</i> yang digunakan mampu mendeteksi <i>defect</i> pada pipa berbahan besi dengan kecepatan 1-8 m/s. Akan tetapi semakin tinggi kecepatan menyebabkan sinyal pembacaan sensor terdistorsi. Pembacaan sensor <i>coil</i> lebih baik dibandingkan sensor hall. Akan tetapi perangkat elektronik yang digunakan tidak dijelaskan.
Garcia-Martin, dkk (2011) [7]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rangkuman dan dasar-dasar utama pengujian NDT <i>eddy current</i> menggunakan sensor <i>coil</i>.</li> <li>• Komponen yang digunakan meliputi <i>signal generator</i>, <i>coil</i>, dan DAQ.</li> </ul>	Menjelaskan komponen atau perangkat elektronik yang harus ada dalam pengujian NDT <i>eddy current</i> , bentuk <i>probe</i> , pengaruh frekuensi, dan teknologi pengolahan data pembacaan <i>eddy current</i> .
Porto, dkk (2013) [13]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengukur <i>defect</i> pada plat besi datar menggunakan sensor GMR, perangkat elektronik yang digunakan : DDS, rangkaian VCCS, rangkaian penguat, <i>demodulator</i> dan filter.</li> <li>• Sistem yang dibuat menggunakan kumparan solenoid dan satu sensor.</li> </ul>	Desain <i>probe eddy current</i> dan sensor yang digunakan mampu membedakan ketebalan ketebalan plat besi datar. Mampu menunjukkan linieritas sensor GMR. Hasil pengujian yang didapatkan bahwa nilai tegangan keluaran dipengaruhi oleh lebar dalam kedalaman <i>crack</i> atau retakan pada material. Masih menggunakan komunikasi serial untuk melihat hasil pembacaan, sehingga belum bisa melakukan penyimpanan data pada piranti penyimpanan.
Ramirez, dkk (2010) [14]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mendeteksi <i>defect</i> pada plat aluminium menggunakan sensor GMR.</li> <li>• Sistem yang dibuat menggunakan kumparan datar dan satu sensor.</li> </ul>	Sensor mampu membedakan ketebalan plat aluminium 2mm, 4mm, 6mm, dan 8mm. Menunjukkan linieritas sensor yang sangat baik. Masih menggunakan komunikasi serial untuk melihat hasil pembacaan, sehingga belum bisa melakukan penyimpanan data pada piranti penyimpanan.
Keshwani dan Bhattacharya (2016) [15]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Eddy current</i> sensor untuk <i>pipeline inspection gauge</i>, menggunakan sensor <i>coil</i>.</li> </ul>	Mampu mendeteksi adanya <i>defect</i> , akan tetapi pengujian masing pada plat datar dan satu lubang tanpa ada variasi ketebalan. Perangkat elektronik yang digunakan tidak dijelaskan.

Berdasarkan hasil studi literatur Tabel 2.2, dapat disimpulkan terdapat komponen penting dalam pengujian menggunakan metode *eddy current*, antara lain *signal generator*, *excitation coil*, sensor, rangkaian pengkondisi sinyal dan DAQ. *Signal generator* difungsikan sebagai pembangkit sinyal arus sinusoidal dengan frekuensi tertentu, akan tetapi pada beberapa referensi tidak menyebutkan secara rinci perangkat yang digunakan sebagai *signal generator*. Di beberapa referensi, setelah *signal generator* digunakan juga rangkaian *V to I* atau *Voltage Controlled Current Source* (VCCS) karena sinyal keluaran *signal generator* memiliki arus yang kecil. Semua referensi sepakat menggunakan *excitation coil* sebagai media pembangkit medan magnet dan *eddy current*. Sensor yang digunakan terdapat perbedaan, ada yang menggunakan *coil* maupun sensor magnetik sebagai pembaca perubahan *eddy current*. Akan tetapi, penggunaan sensor magnetik

dalam pengujian *eddy current* masih terbatas pada satu sensor atau belum diaplikasikan pada PIG. Sedangkan untuk rangkaian pengkondisi sinyal dan DAQ ditemukan beragam solusi.

Hasil studi literatur didapatkan spesifikasi sistem yang akan dikembangkan. Berikut spesifikasi dari sistem:

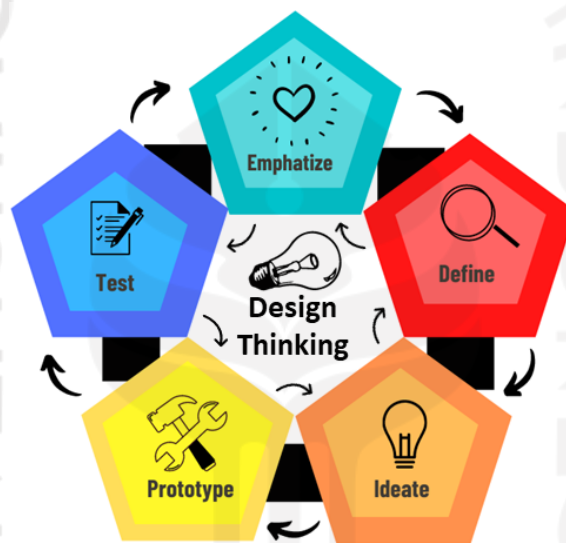
- Alat dapat mendeteksi perubahan ketebalan pipa dengan rentang kecepatan 0,5 – 2 m/s.
- Alat dapat mendeteksi perubahan ketebalan pipa dengan akurasi 1 mm.
- Sinyal hasil pembacaan dengan toleransi error 5%.
- Data mentah/*raw* data hasil pembacaan alat disimpan pada piranti penyimpanan sebelum dilakukan analisis.



## BAB 3 : Usulan Perancangan Sistem

### 3.1 Usulan Rancangan Sistem

Dalam perancangan sistem alat inspeksi pipa berbasis *eddy current* pada tugas akhir, ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan sesuai dengan kebutuhan dalam *engineering design*. Adapun tahapan yang digunakan sesuai dengan metode *design thinking* seperti yang ditunjukkan Gambar 3.1. Secara harfiah, *design thinking* dapat dimaknai suatu konsep desain bagaimana seseorang berfikir. Menurut Lockwood [16], *design thinking* sangat esensial dengan manusia sebagai pusat proses inovasi yang menekankan pada pengamatan, kolaborasi, belajar cepat, visualisasi ide, *prototyping* konsep cepat dan analisis, yang sangat penting pada inovasi dan strategi.



Gambar 3.1. Alur metode *design thinking*

Ada beberapa tahapan pada alur metode *design thinking* yaitu *empathize*, *define*, *ideate*, *prototype*, dan *test*. Metode *design thinking* dilakukan dengan rincian sebagai berikut:

#### 3.1.1 *Empathize*

Pada tahap *empathize*, mendalami permasalahan dengan cara mencari informasi mengenai inspeksi pipa di industri dari berbagai sumber informasi seperti jurnal, artikel, dan *website* terpercaya.

#### 3.1.2 *Define*

Pada tahap *define*, mendefinisikan masalah pada sistem perpipaan di industri yang akan mengalami perubahan kondisi ketika digunakan seperti korosi, *crack*, cekungan, dan berkurangnya ketebalan pada pipa. Pada tugas akhir fokus pada penyelesaian untuk mengetahui perubahan ketebalan pipa berbahan logam diameter 273 mm dan ketebalan 9.27 mm.



### 3.1.3 Ideate

Pada tahap *ideate*, menuangkan ide-ide untuk memecahkan masalah yaitu membuat sistem instrumentasi inspeksi pipa berbasis *eddy current* untuk mengukur perubahan ketebalan pipa.

### 3.1.4 Prototype

Pada tahap *prototype*, memahami hal-hal yang harus dilakukan agar masalah dapat terpecahkan serta mewujudkan ide dengan *prototype*, *prototype* umumnya digunakan untuk mengevaluasi desain baru dari sistem untuk meningkatkan presisi analisis dan penggunaan sistem.

### 3.1.5 Test

Pada tahap *test*, melakukan pengujian alat agar didapatkan hasil pembacaan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

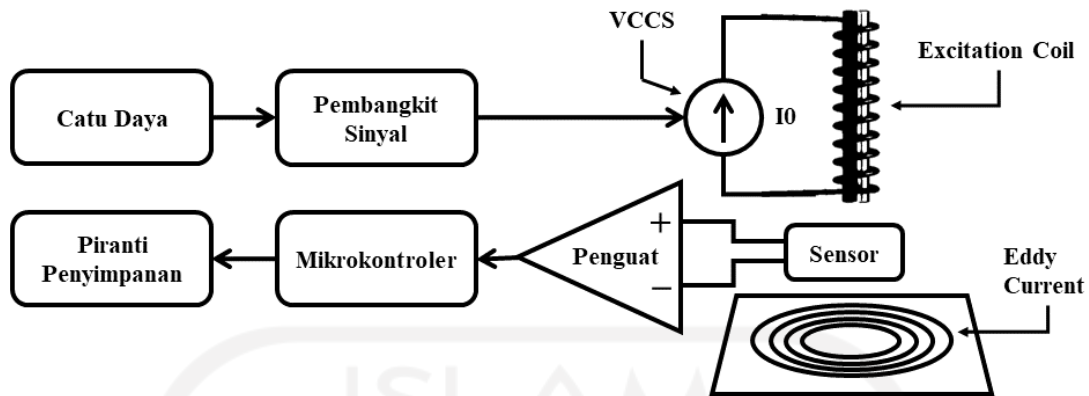
Dari tahapan-tahapan tersebut seperti siklus yang didalamnya dapat terjadi perubahan, perbaikan, maupun penambahan yang bertujuan untuk memenuhi spesifikasi kebutuhan dari sistem instrumentasi inspeksi pipa berbasis *eddy current*.

Sistem instrumentasi yang dibuat diberi nama yaitu SIECu-Pi. Rancangan sistem berfokus pada pembuatan instrumentasi sensor berbasis *eddy current* yang dapat mengukur perubahan ketebalan pipa berbahan logam dengan diameter 273 mm dan ketebalan 9.27 mm. Dalam perancangan instrumentasi mengedepankan tingkat ketepatan pembacaan data dan dengan biaya pembuatan yang relatif terjangkau.

Dalam perancangan sistem mengajukan dua usulan solusi. Usulan pertama, sistem terdiri dari catu daya, pembangkit sinyal, VCCS, *excitation coil*, sensor, penguat, *demodulator*, filter, mikrokontroler, *counter* jarak, dan piranti penyimpanan. Usulan kedua, sistem terdiri catu daya, VCCS, *excitation coil*, *thermal compensation*, sensor, penguat, filter, mikrokontroler, *counter* jarak, dan piranti penyimpanan. Usulan terbaik diambil dengan mengkombinasikan kedua usulan tersebut. Usulan terbaik terdiri dari catu daya, pembangkit sinyal, VCCS, *excitation coil*, sensor, penguat, filter, mikrokontroler, *counter* jarak, dan piranti penyimpanan.

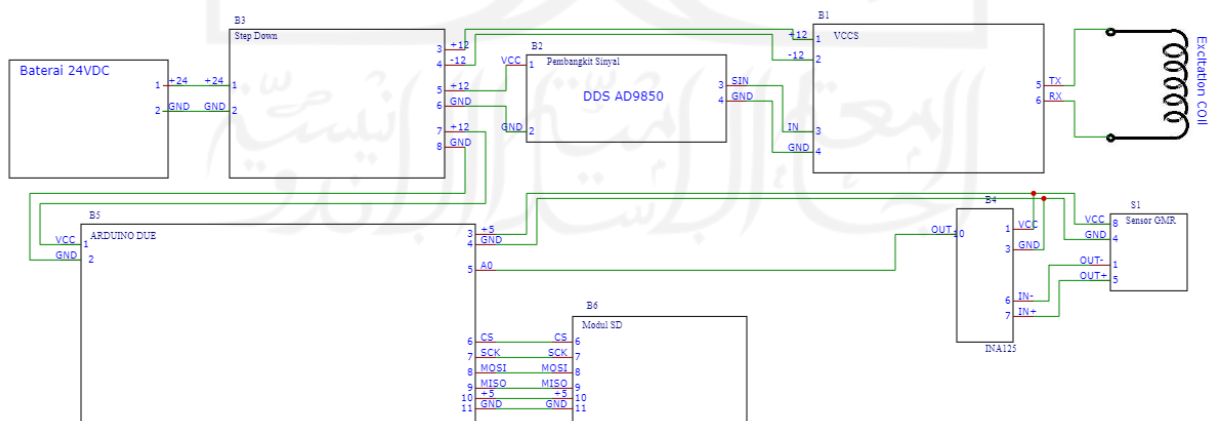
Komposisi usulan terbaik dipilih karena berdasarkan standar keteknikan yang digunakan dalam perancangan sistem instrumentasi berbasis *eddy current*. Adapun standar keteknikan mengacu pada jurnal [7] dan buku [17]. Menurut Garcia-Martin, dkk [7] prinsip pengukuran menggunakan *eddy current* diperlukan pembangkit sinyal yang merubah tegangan DC ke arus yang memiliki frekuensi. Menurut Prasad dan Nair [17] standar pemilihan frekuensi yang digunakan untuk deteksi *crack* dan perubahan ketebalan pipa berada pada rentang frekuensi 1 kHz – 1 MHz. Pada usulan terbaik rangkaian *demodulator* tidak digunakan karena sudah ada alat yang tidak menggunakan rangkain *demodulator* dan menghasilkan pembacaan yang baik, serta untuk menekan biaya pembuatan. Rangkaian *thermal compensation* tidak digunakan karena alat tidak diimplementasikan pada lingkungan dengan suhu ekstrim. Komponen yang digunakan pada

masing-masing usulan dan alasan pemilihan dapat dilihat pada lampiran dokumen TA103. Realisasi perancangan sistem yang dibuat menggunakan diagram blok Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram blok sistem

Sistem terdiri dari catu daya, pembangkit sinyal, *excitation coil*, sensor *Giant Magnetoresistance* (GMR) AAL002-02E, penguat INA125, mikrokontroler, dan piranti penyimpanan. Cara kerja sistem instrumentasi adalah saat sistem dinyalakan dan dimasukkan ke dalam pipa, maka pembangkit sinyal akan memberi arus berfrekuensi 25 kHz pada *excitation coil* sehingga timbul medan magnet yang menginduksikan arus *eddy* pada permukaan pipa. Kemudian ketika terdapat perubahan ketebalan pipa, arus *eddy* yang ada pada permukaan pipa akan mengalami perubahan yang nantinya akan ditangkap atau dibaca oleh sensor GMR AAL002-02E. Setelah itu sinyal hasil pembacaan masuk ke pengkondisi sinyal yaitu melalui penguat INA125. Lalu sinyal hasil penguatan dibaca oleh mikrokontroler melalui pin ADC dan disimpan dalam piranti penyimpanan. Adapun rangkaian keseluruhan sistem SIECu-Pi pada Gambar 3.3. Inventarisasi kebutuhan sistem perangkat keras yang diperlukan untuk dapat memenuhi usulan sistem dituliskan pada Tabel 3.1.



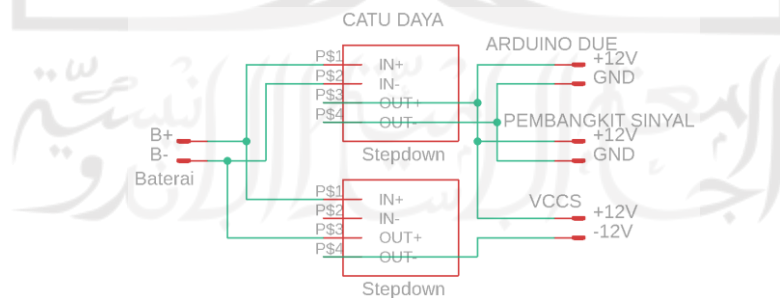
Gambar 3.3. Rangkaian keseluruhan sistem SIECu-Pi

Tabel 3.1. Inventarisasi kebutuhan usulan sistem

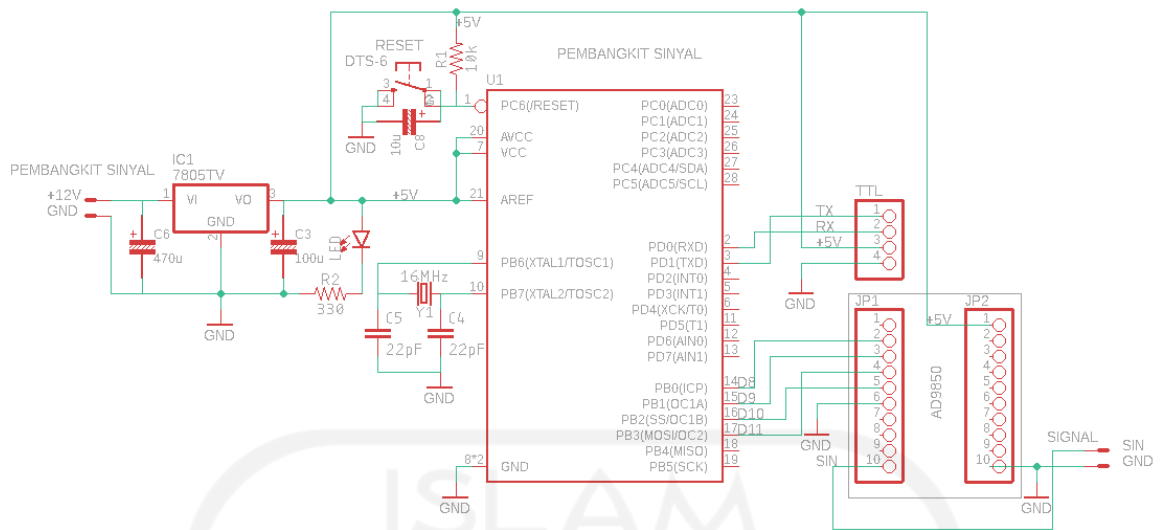
No	Nama Alat	Keterangan
1	Baterai	Baterai yang digunakan tipe <i>Lithium ion</i> dengan kapasitas 3.7 V 1500 mAh 6 sel. Baterai ini dipilih karena lebih awet daripada tipe A2/A3 dan sering digunakan pada proyek mikrokontroler.
2	Modul BMS	Modul yang berfungsi sebagai penyeimbang tegangan dan proteksi baterai.
3	Modul <i>step down LM2596</i>	Modul ini digunakan untuk menurunkan tegangan dari baterai menjadi +12 Gnd dan -12 V. Modul ini dipilih karena memiliki keluaran tegangan yang stabil dan lebih tahan lama.
4	Modul AD9850	Modul yang digunakan untuk membangkitkan sinyal sinus. Modul ini dipilih karena modul dapat menghasilkan sinyal sinus dengan frekuensi sampai 1 MHz, sehingga spesifikasi yang diinginkan terpenuhi.
5	Rangkaian VCCS	Rangkaian yang berfungsi untuk mengkonversi sumber tegangan menjadi sumber arus. Rangkaian ini diperlukan untuk membangkitkan arus ke <i>excitation coil</i> agar dapat membangkitkan elektromagnetik.
6	<i>Excitation Coil</i>	Kumparan yang digunakan untuk memancarkan <i>eddy current</i> pada permukaan pipa. Desain <i>probe</i> yang digunakan yaitu <i>absolut</i> . Pemilihan tipe <i>probe</i> karena dalam pembuatan yang mudah.
7	Sensor GMR AAL002-02E	Sensor yang digunakan adalah suatu IC yang dapat membaca perubahan <i>eddy current</i> saat terdapat perubahan pada ketebalan pipa. Pemilihan ini karena dapat diaplikasikan untuk mengukur arus <i>non-contact</i> dan memiliki nilai non linieritas 0.01 - 0.05%.
8	Penguat INA125	Sebuah IC yaitu INA125 yang digunakan sebagai penguat instrumentasi sinyal pembacaan sensor GMR. Penguat ini dipilih karena sesuai <i>datasheet</i> GMR diperlukan penguat agar sinyal dapat terbaca. Menurut [13] penguat yang digunakan adalah penguat instrumentasi INA125.
9	Mikrokontroler Arduino DUE	Untuk proses pengolahan data awal yang memiliki clock speed 84 MHz, analog resolusi 12 bit, dan 12 pin analog. Sehingga kebutuhan sistem terpenuhi.
10	Modul mikro SD	Modul yang digunakan sebagai <i>data logger</i> . Modul ini dipilih karena sering digunakan dalam penyimpanan data ke mikro SD dan harga yang terjangkau.
11	Piranti Penyimpanan	Piranti penyimpanan menggunakan mikro SD dengan kapasitas 32 Gb yang memiliki kecepatan R/W 120 Mbps. Hal ini untuk tempat penyimpanan data sementara sebelum diolah. Ini dipilih karena harga yang relatif terjangkau, ukuran kecil, dan mudah digunakan.

Rangkaian skematik dan desain PCB instrumentasi dibuat menggunakan *software* EAGLE.

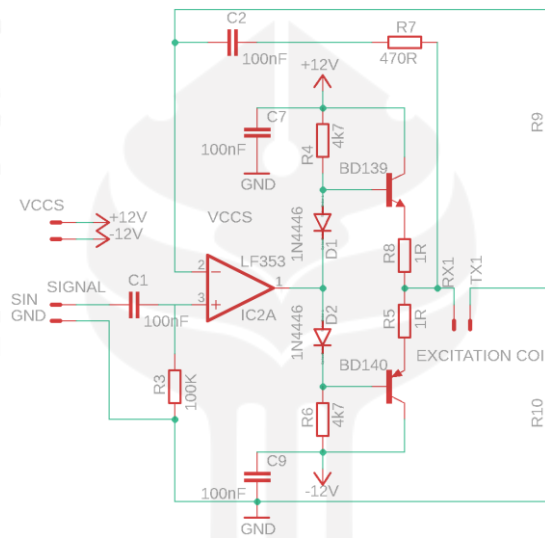
Gambar 3.4 merupakan rangkaian keseluruhan yang digunakan pada alat SIECu-Pi.



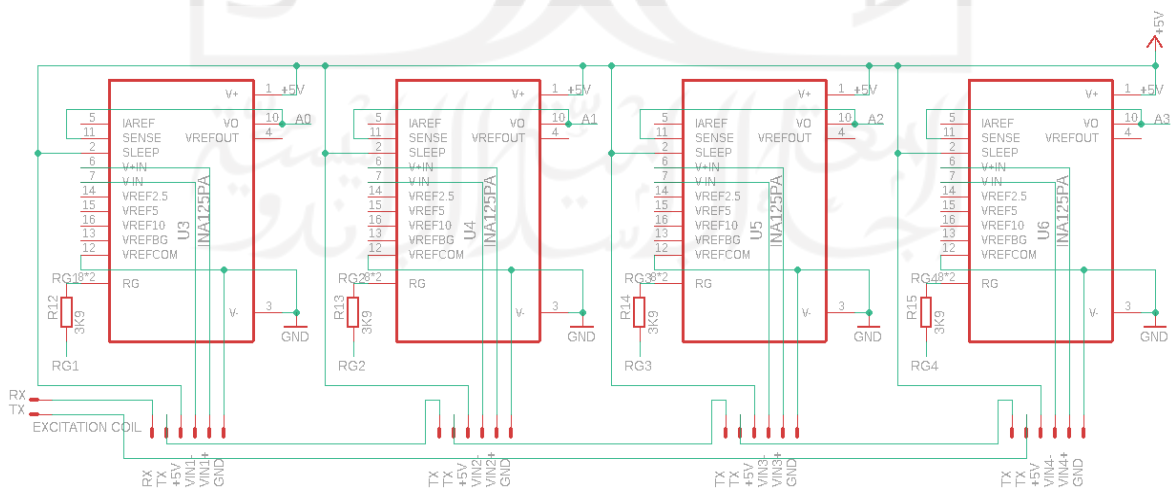
(a)



(b)



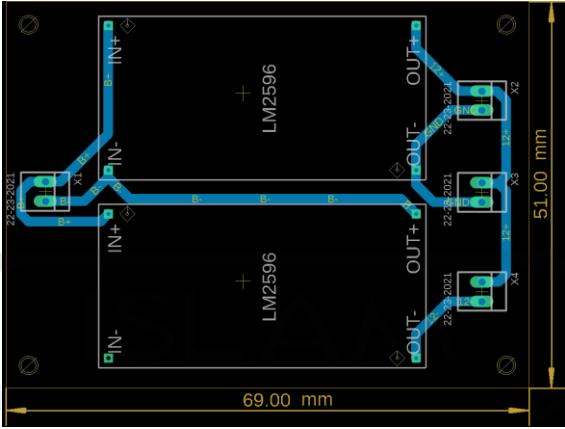
(c)



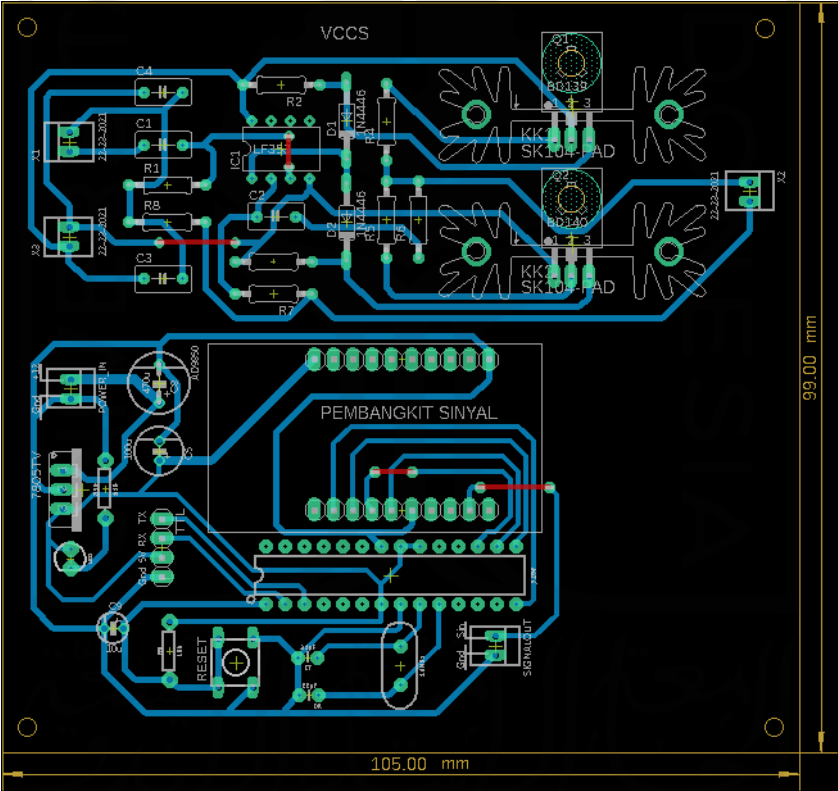
(d)

Gambar 3.4. Rangkaian skematik SIECu-Pi. (a) catu daya, (b) pembangkit sinyal, (c) VCCS, (d) penguat INA125

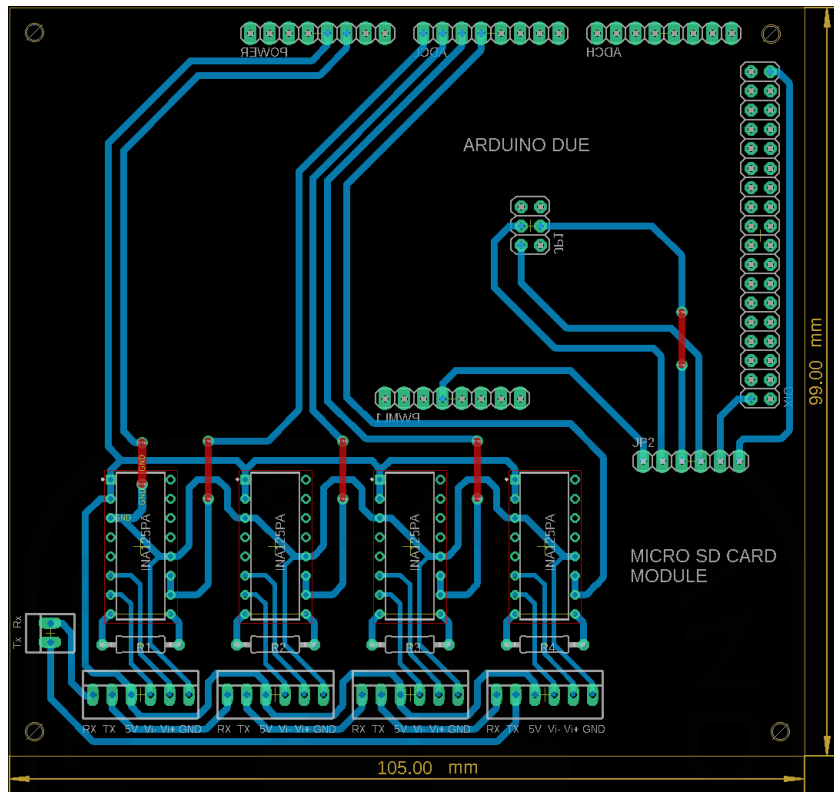
Desain PCB yang dibuat ada tiga bagian yaitu pertama PCB catu daya, kedua PCB pembangkit sinyal dan VCCS, dan ketiga PCB penguat, Arduino DUE, dan modul mikro SD. Hasil desain PCB alat SIECu-Pi dapat dilihat pada Gambar 3.5.



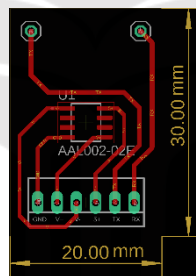
(a)



(b)



(c)

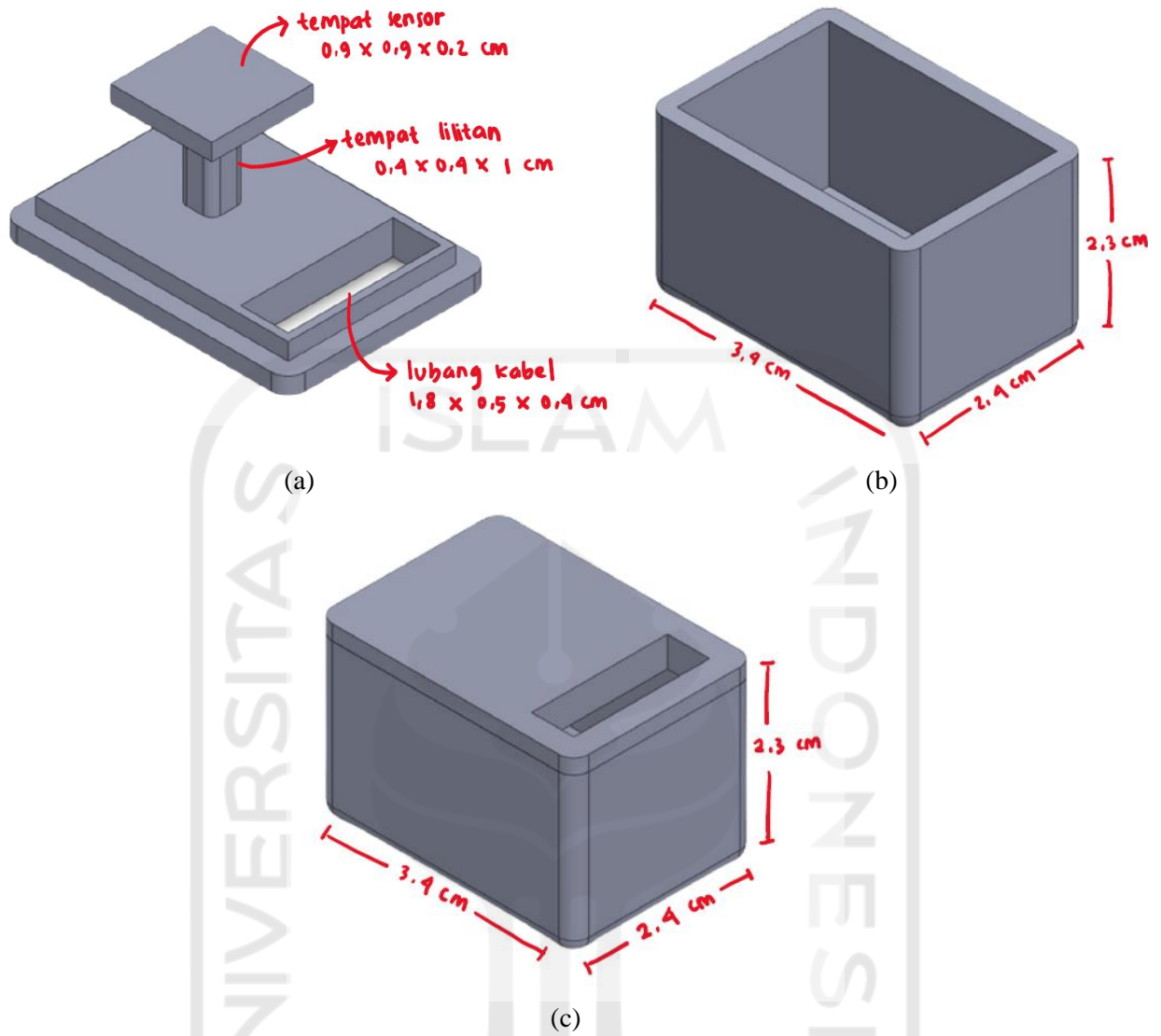


(d)

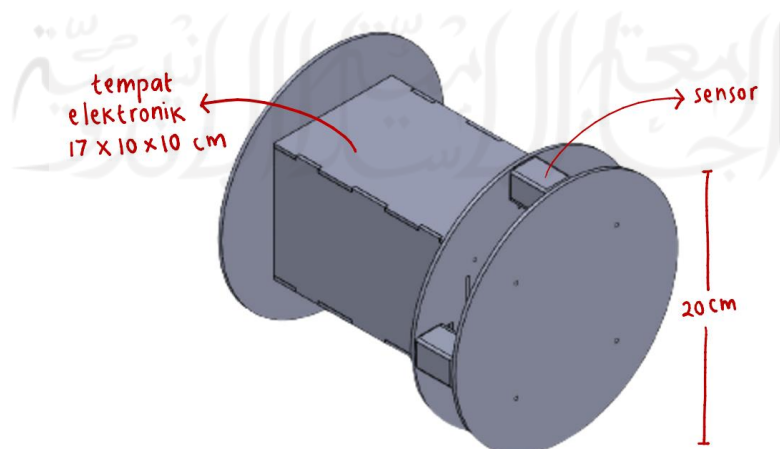
Gambar 3.5. Desain PCB SIECu-Pi. (a) catu daya, (b) pembangkit sinyal dan VCCS, (c) penguat, arduino DUE, dan modul mikro SD, (d) sensor

Desain tempat atau *cover* dari instrumentasi ini dibuat menggunakan *software* SOLIDWORKS, desain tempat untuk *excitation coil* berbentuk persegi panjang dengan tiang di bagian tengah yang digunakan untuk melilit kumparan dapat dilihat pada Gambar 3.6 (a). Ukuran wadah tersebut 3.4×2.4 cm, tinggi tiang 1 cm, jarak kumparan dengan sensor 0.2 cm, dan terdapat lubang untuk kabel.

Desain tempat untuk sensor berbentuk balok seperti Gambar 3.6 (b) dengan ukuran 3.4×2.4×2.3 cm. *Prototype* instrumentasi pada PIG dapat dilihat pada Gambar 3.7. Bentuk desain *prototype* disesuaikan dengan alat inspeksi yang sudah ada. Ukuran PIG disesuaikan dengan ukuran pipa yang akan diinspeksi, jika ukuran pipa berbeda maka hanya merubah desain PIG dan sistem instrumentasi SIECu-Pi tetap dapat digunakan. Jumlah sensor juga menyesuaikan besarnya pipa yang akan diinspeksi.

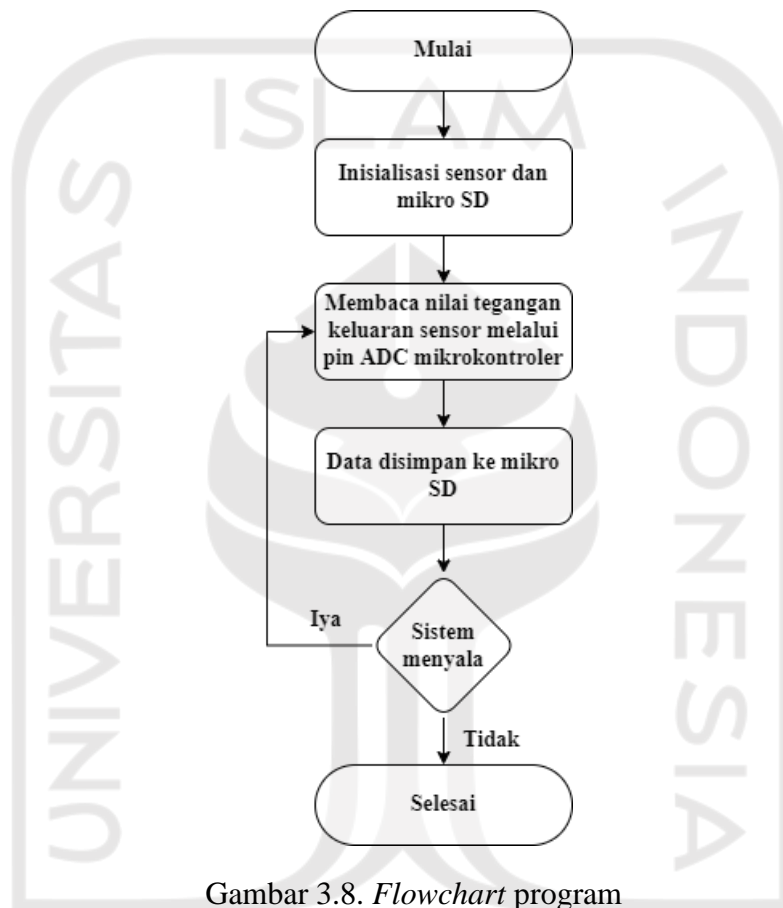


Gambar 3.6. Desain 3 dimensi SIECu-Pi. (a) wadah *excitation coil* dan sensor, (b) wadah sensor, (c) bentuk seluruh sensor



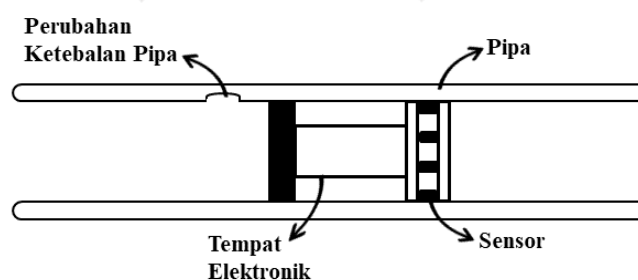
Gambar 3.7. *Prototype instrumentasi*

Data hasil pembacaan sensor di olah menggunakan mikrokontroler Arduino DUE. Adapun *flowchart* program yang digunakan pada Gambar 3.8. Pertama kali sistem dinyalakan, kemudian mulai inialisasi sensor dan mikro SD. Setelah mikro SD berhasil di akses, dilakukan pembacaan nilai tegangan keluaran sensor melalui pin ADC mikrokontroler. Dan data hasil pembacaan sensor disimpan ke mikro SD. Ketika sistem masih menyala program akan melakukan perulangan pembacaan nilai analog pada masing-masing sensor, sebaliknya ketika sistem mati maka program akan selesai.



Gambar 3.8. *Flowchart* program

Setelah dilakukan perancangan, pada pengaplikasian alat SIECu-Pi dimasukkan kedalam pipa untuk melakukan inspeksi. Ilustrasi pengaplikasian alat SIECu-Pi dalam pengambilan data perubahan ketebalan pipa seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Ilustrasi pengaplikasian alat SIECu-Pi



Inspeksi pipa di industri dilakukan menggunakan PIG, terdapat beberapa jenis PIG diantaranya adalah *utility pigs* yang digunakan untuk membersihkan pipa sebelum dilakukan inspeksi menggunakan *inline inspection pigs* atau *intelligent pigs*. *Intelligent pigs* digunakan untuk mendeteksi kondisi pipa dan letak anomali pada pipa [18]. Deteksi kondisi pipa menggunakan metode *eddy current* termasuk dalam jenis *intelligent pigs*. Dalam tugas akhir ini dibuat sistem instrumentasi bernama SIECu-Pi dan dapat diterapkan pada *intelligent pigs*.

Proses inspeksi pada pipa industri terdiri dari dua tahap, yaitu tahap pembersihan pipa dan tahap pengukuran meliputi pengukuran bentang dan ketebalan pipa. Kedua tahap dilakukan dengan memasukkan PIG pada pipa melalui terminal yang disebut *launcher*. Setelah PIG dimasukkan ke dalam *launcher*, PIG akan didorong dengan fluida yang bertekanan agar dapat berjalan dan melakukan inspeksi disepanjang pipa, sebelum akhirnya PIG dikeluarkan melalui *reciever* yang terpasang di ujung pipa [18].

## **3.2 Metode Uji Coba dan Pengujian Usulan Rancangan Sistem**

### **3.2.1 Uji Coba di Laboratorium**

Uji coba dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Kendali Universitas Islam Indonesia pada potongan pipa ukuran diameter 273 mm dan ketebalan 9.27 mm. Potongan pipa yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.10. Sebelum kalibrasi sensor dilakukan uji coba pada masing-masing komponen sistem sebagai berikut:

#### **A. Uji Coba Pembangkit Sinyal**

Pembangkit sinyal di uji dengan melakukan variasi frekuensi pada rentang 1 – 100 kHz.

#### **B. Uji Coba *Excitation Coil***

- a) Jumlah lilitan 50
- b) Jumlah lilitan 100
- c) Jumlah lilitan 150
- d) Jumlah lilitan 200

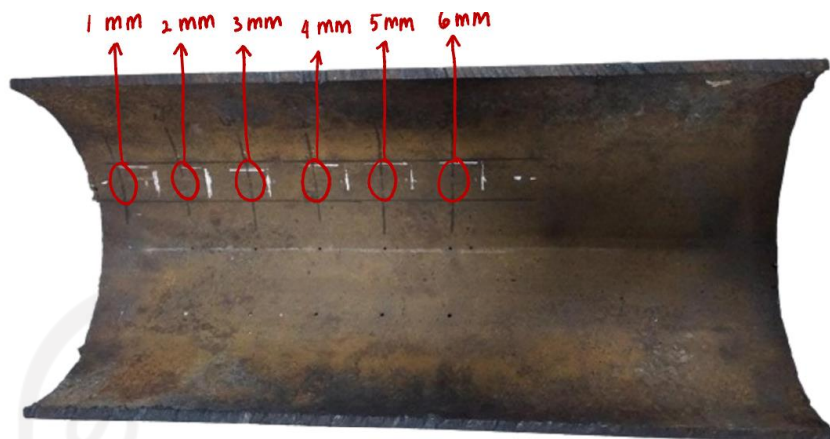
#### **C. Uji Coba Sistem *Data Logger***

### **3.2.2 Kalibrasi Sensor**

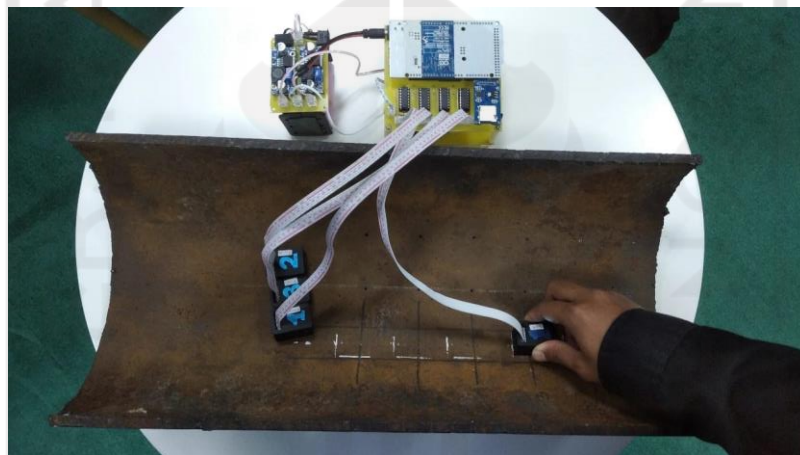
Kalibrasi sensor dilakukan untuk menentukan karakteristik dan *error* masing-masing sensor. Kalibrasi dilakukan pada potongan pipa yang sudah terdapat lubang dengan variasi kedalaman. Ilustrasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.11. Adapun variasi kedalaman uji coba sebagai berikut:

- a) Peletakan sensor di pipa dengan kedalaman lubang 1 mm.
- b) Peletakan sensor di pipa dengan kedalaman lubang 2 mm.
- c) Peletakan sensor di pipa dengan kedalaman lubang 3 mm.

- d) Peletakan sensor di pipa dengan kedalaman lubang 4 mm.
- e) Peletakan sensor di pipa dengan kedalaman lubang 5 mm.
- f) Peletakan sensor di pipa dengan kedalaman lubang 6 mm.



Gambar 3.10. Potongan pipa uji coba laboratorium



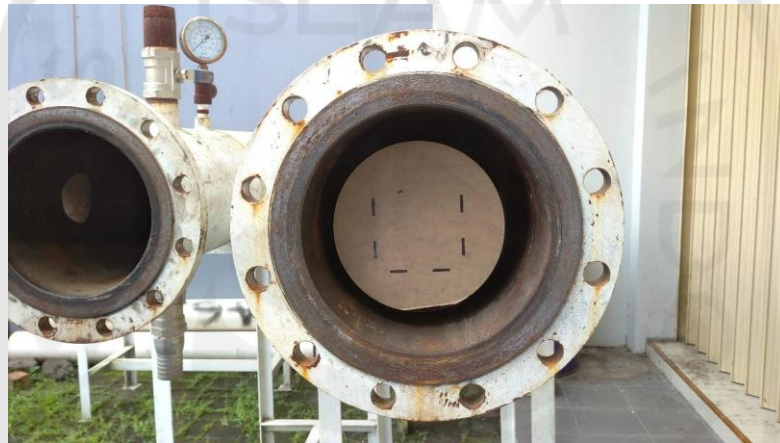
Gambar 3.11. Ilustrasi pengambilan data di laboratorium

### 3.2.3 Pengujian di CV. Krakret Technology

Pengujian dilakukan pada pipa di CV. Krakret Technology dengan ukuran diameter 273 mm dan ketebalan 9.27 mm serta panjang 2 meter. Pipa yang digunakan memiliki lubang pada titik tertentu. Pengujian dilakukan dengan cara menarik alat secara manual. Pipa yang digunakan seperti pada Gambar 3.12. Ilustrasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.12. Pipa pengujian di CV. Krakret Technology



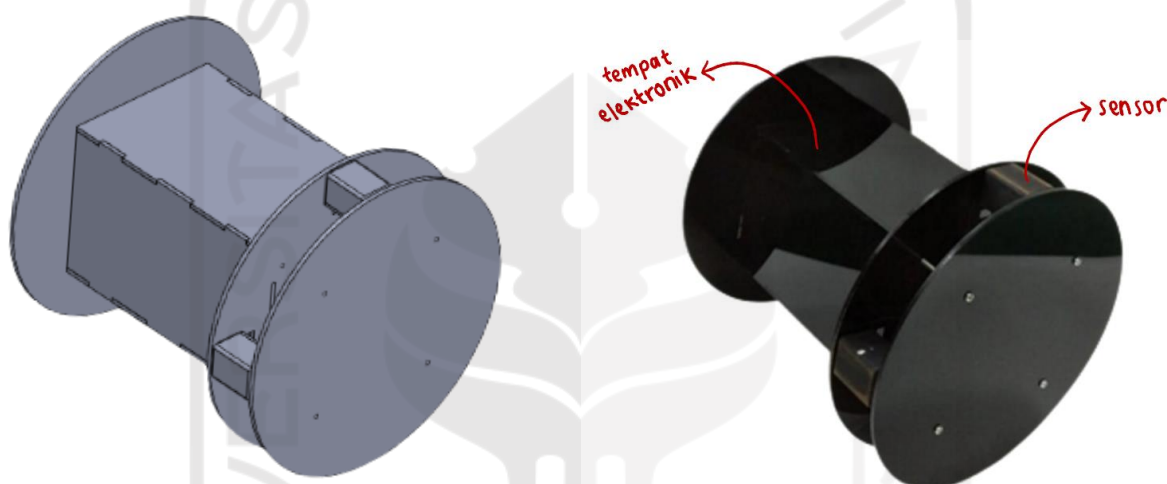
Gambar 3.13. Ilustrasi pengambilan data di CV. Krakret Technology

UNIVERSITAS  
AL-JAMAAH AL-ISLAMIAH  
AL-ISTILAH AL-ANDALUSIAH

## BAB 4 : Hasil Perancangan Sistem

### 4.1 Kesesuaian Usulan dan Hasil Perancangan Sistem

Sistem yang dirancang sudah memenuhi spesifikasi alat yang diusulkan. Namun, di dalam proses untuk memenuhi spesifikasi tersebut terjadi beberapa perubahan desain dan komponen elektronika yang digunakan agar sistem dapat bekerja dengan baik. Adapun perubahan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya kemudahan dalam implementasi maupun komponen yang digunakan tidak dapat berfungsi secara maksimal. Perbandingan antara usulan sistem dan realisasi hasil perancangan sistem pada Tabel 4.1. Perbandingan desain *prototype* instrumentasi menggunakan perangkat lunak dengan hasil realisasinya pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Perbandingan desain *prototype* instrumentasi dengan hasil realisasi

Tabel 4.1. Perbandingan usulan dan hasil perancangan sistem

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
1	Dimensi sensor	70 × 50 × 1 mm	24 × 34 × 23 mm
2	Catu daya	Baterai Li-Ion 24VDC	Baterai Li-Ion 24VDC
3	Regulator tegangan	IC LM7812 dan LM7912	Modul LM2596
4	Wave generator	Modul <i>function generator</i> Flexili	DDS AD9850
5	VCCS	Tidak ada	Ada
6	Excitation Coil	Flat coil PCB	Wire coil
7	Sensor receiver	GMR	GMR
8	Penguat	INA125	INA125
9	Filter	LPF	Tidak ada
10	Mikrokontroler	Arduino Due	Arduino Due
11	Piranti penyimpan data	Mikro SD	Mikro SD
12	Counter jarak	Encoder	Tidak ada

## 4.2 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Realisasi perencanaan dalam manajemen tim terdapat perubahan pada *timeline* dan RAB dikarenakan terdapat perubahan pada desain dan komponen elektronika yang digunakan agar sistem sesuai dengan spesifikasi yang diusulkan. *Timeline* dan RAB dituliskan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2. Kesesuaian *timeline* antara usulan dan realisasi pengerjaan tugas akhir

No	Kegiatan	Usulan waktu	Realisasi Pelaksanaan
1	Pembelian alat dan bahan	Maret	Maret – Mei
2	Desain PCB	Maret	Maret – Mei
3	Solder komponen	Maret – April	Maret – Juni
4	Mencoba rangkaian per bagian	Maret – April	Maret – Mei
5	Merangkai keseluruhan alat	Maret – April	Mei – Juni
6	Kalibrasi alat	April	Mei – Juni
7	Membuat Technical Report TA201	April	Mei
8	Menentukan metode/rancangan pengujian alat	Mei	Juni
9	Pengujian Alat	April – Mei	Mei – Juli
10	Membuat Technical Report TA202	Mei	Juni
11	Menyusun Laporan Akhir	Mei – Juni	Juni – Juli

Tabel 4.3. Kesesuaian RAB antara usulan dan realisasi pengerjaan tugas akhir

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga	Kuantitas	Total Harga
<b>Komponen</b>					
1	Sensor GMR AAL002-02E	8 pcs	Rp. 1.384.000,-	8 pcs	Rp. 1.384.000,-
2	Penguat INA125	8 pcs	Rp. 704.000,-	8 pcs	Rp. 704.000,-
3	Arduino DUE	1 pcs	Rp. 750.000,-	2 pcs	Rp. 860.000,-
4	Encoder 360 P/R	1 pcs	Rp. 270.000,-	-	-
5	Sandisk Ultra 32 GB	1 pcs	Rp. 75.000,-	1 pcs	Rp. 75.000,-
6	Dudukan Encoder	1 pcs	Rp. 250.000,-	-	-
7	Roda	1 pcs	Rp. 100.000,-	-	-
8	Kabel	10 m	Rp. 15.000,-	10 m	Rp. 15.000,-
9	Filter	8 pcs	Rp. 120.000,-	-	-
10	Power Converter	1 pcs	Rp. 120.000,-	-	-
11	Modul Step down LM2596	-	-	2 pcs	Rp. 40.000,-
12	Battery management System (BMS)	-	-	1 pcs	Rp. 32.000,-
13	Tempat Baterai	-	-	2 pcs	Rp. 28.000,-
14	Function Generator	1 pcs	Rp. 200.000,-	1 pcs	Rp. 260.000,-
15	Analog Level Converter	1 pcs	Rp. 80.000,-	-	-
16	Baterai	5 pcs	Rp. 100.000,-	6 pcs	Rp. 84.000,-
17	Tembaga	10 m	Rp. 20.000,-	10 m	Rp. 20.000,-
18	Komponen VCCS	-	-	1 pcs	Rp. 30.000,-
19	Modul SD Card	-	-	1 pcs	Rp. 8.000,-
20	Tembaga EMAIL 0.4 mm	-	-	2 ons	Rp. 70.000,-
<b>Jasa</b>					
1	Cetak PCB Sensor	8 pcs	Rp. 50.000,-	8 pcs	Rp. 12.000,-
2	Cetak PCB Sistem	1 pcs	Rp. 100.000,-	1 pcs	Rp. 72.000,-
3	Cetak Akrilik 3D	-	-	1 paket	Rp. 150.000,-
4	Bor Pipa Pengujian	-	-	1 paket	Rp. 250.000,-
<b>Lain-Lain</b>					
1	Ongkos Kirim	1 paket	Rp. 650.000,-	1 paket	Rp. 100.000,-
2	Pajak Bea Cukai	1 paket	Rp. 1.300.000,-	1 paket	Rp. 979.000,-
<b>Total</b>			<b>Rp. 6.288.000,-</b>		<b>Rp. 5.173.000,-</b>

### 4.3 Analisis dan Pembahasan Kesesuaian antara Perencanaan dan Realisasi

Proses realisasi pengerjaan tugas akhir terdapat beberapa perubahan pada desain dan komponen elektronika yang digunakan, perubahan dilakukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Perubahan juga didasari oleh beberapa referensi mengenai pengukuran menggunakan metode *eddy current*. Perubahan yang dilakukan tidak merubah fungsi dari usulan sistem yang diusulkan pada TA103. Adapun persentase kesesuaian antara perencanaan dan realisasi mencapai 89%, karena dari spesifikasi sistem terdapat satu yang tidak tercapai secara maksimal yaitu kecepatan PIG 0.5 – 2 m/s. Berikut pembahasan beberapa perubahan yang dilakukan dalam realisasi:

- a. *Timeline* pengerjaan TA2 mengalami kemunduran selama satu bulan pada bulan April. Kemunduran tersebut pada tahap merangkai keseluruhan alat, karena bagian *wave generator* belum bisa membangkitkan sinyal. Adanya kemunduran ini mengakibatkan kemunduran juga pada tahap setelahnya.
- b. Nominal RAB pada realisasi mengalami penurunan sebesar 18% dari RAB usulan. Karena beberapa komponen seperti *analog converter*, filter, *encoder*,udukan *encoder*, dan roda tidak jadi digunakan. Selain itu *power converter* diganti dengan modul *step down* yang memiliki harga lebih murah.
- c. Dimensi sensor yang diusulkan berukuran 7×5×0.1 cm, sedangkan pada realisasinya berukuran 2.4×3.4×2.3 cm. Dimensi sensor yang direalisasikan memiliki dimensi lebih kecil namun lebih tebal dari usulan. Hal ini berkaitan dengan perubahan pada desain *excitation coil*. Pada usulan, *excitation coil* menggunakan *flat coil* PCB atau kumparan yang dicetak pada PCB. Sedangkan pada realisasinya *excitation coil* dibuat menggunakan kawat tembaga yang dililit sebanyak 150 lilitan. Hal ini yang mengakibatkan dimensi sensor menjadi tebal. Pertimbangan memilih kawat tembaga sebagai *excitation coil* adalah mudah dalam pembuatan dan harga yang murah. Karena jika menggunakan *flat coil* PCB diperlukan desain dengan banyak *layer* sehingga biaya akan membengkak pada pembuatan PCB.
- d. Desain regulator pada usulan menggunakan IC regulator 7812 dan 7912 untuk menghasilkan tegangan +12, gnd, dan -12V. Namun pada realisasinya menggunakan modul *step down* LM2596. Pertimbangan memilih modul *step down* adalah karena mampu menghasilkan tegangan yang stabil dan mampu bertahan lama. Karena sebelumnya sudah membuat rangkaian regulator menggunakan IC regulator, namun ketika digunakan untuk menyuplai rangkaian, IC mudah panas dan terbakar, hal ini juga berpengaruh pada rangkaian VCCS yang cepat panas dan terjadi hubung singkat.

- e. *Wave generator* pada usulan menggunakan modul *function generator* dari Flexili. Namun pada realisasi menggunakan modul DDS AD9850. Pemilihan modul DDS AD9850 ini dikarenakan terjadi *human error* ketika menggunakan modul *function generator* dari Flexili yang mengakibatkan *function generator* tidak dapat bekerja maksimal. Selain itu, modul AD9850 merupakan modul *wave generator* yang mampu membangkitkan sinyal sinus dengan rentang frekuensi 1 – 1MHz. Adanya fitur frekuensi yang dapat diatur sangat berguna dalam percobaan pemilihan frekuensi terbaik untuk pengukuran NDT berbasis *eddy current*.
- f. Rangkaian VCCS tidak terdapat pada usulan, akan tetapi dalam realisasi digunakan. Penggunaan VCCS merupakan konsekuensi dari pemilihan modul AD9850. Karena arus keluaran AD9850 tidak mampu membangkitkan *eddy current*, untuk itu diperlukan rangkaian VCCS agar *eddy current* dapat dibangkitkan melalui *excitation coil*.
- g. Pada usulan, *encoder* digunakan sebagai pengukur jarak yang sudah ditempuh oleh PIG. Pada realisasinya, *encoder* tidak digunakan karena proses perancangan berfokus pada ketercapaian spesifikasi alat yang diusulkan. Pada pengujian alat sudah diketahui letak lubang pada pipa, sehingga tidak perlu mengukur jarak dengan *encoder*.
- h. Pada usulan, filter digunakan untuk menghilangkan *noise* pada sinyal pembacaan. Realisasinya tidak menggunakan filter karena hasil pembacaan sensor sudah bagus. Pada saat menggunakan filter, sinyal pembacaan saat terdapat perubahan ketebalan pipa tidak terbaca atau hilang. Filter tidak jadi digunakan sehingga dapat mengurangi biaya pengeluaran.

## BAB 5 : Implementasi Sistem dan Analisis

Setelah proses pembuatan *prototype* selesai, dilakukan uji coba skala laboratorium dan pengujian pada pipa di CV. Krakret Technology. Adapun uji coba skala laboratorium dilakukan untuk menentukan besar frekuensi, jumlah lilitan kumparan, kalibrasi sensor, dan mencari karakteristik masing-masing sensor pada potongan pipa setengah lingkaran. Pengujian pada pipa di CV. Krakret Technology dilakukan untuk mengetahui hasil pembacaan SIECu-Pi.

### 5.1 Uji Coba di Laboratorium

#### 5.1.1 Uji Coba Pembangkit Sinyal

Pada uji coba pembangkit sinyal dilakukan variasi frekuensi dengan rentang antara 1 sampai 100 kHz. Pengambilan data dilakukan menggunakan *software* MATLAB. Tujuan uji coba untuk menentukan frekuensi terbaik yang dapat digunakan dalam pengukuran menggunakan metode *eddy current*. Adapun kriteria frekuensi terbaik ditentukan dengan melihat nilai selisih tegangan antar lubang, frekuensi terbaik memiliki nilai selisih tegangan pembacaan antar lubang yang sama. Tabel 5.1 adalah data variasi frekuensi yang didapatkan.

Tabel 5.1. Selisih pembacaan sensor dengan frekuensi berbeda

No	Frekuensi	$\Delta V$ Lubang 2 mm	$\Delta V$ Lubang 4 mm	$\Delta V$ Lubang 6 mm
1	1 kHz	0.0406	0.1086	0.1271
2	5 kHz	0.0364	0.0364	0.1209
3	10 kHz	0.0355	0.1043	0.1226
4	15 kHz	0.0355	0.1069	0.1235
5	20 kHz	0.0347	0.1061	0.1249
6	25 kHz	0.0329	0.0697	0.1073
7	30 kHz	0.0315	0.0651	0.1137
8	35 kHz	0.0287	0.0843	0.1126
9	40 kHz	0.0226	0.1031	0.1112
10	45 kHz	0.0316	0.0742	0.1069
11	50 kHz	0.0347	0.1014	0.1105
12	60 kHz	0.0364	0.1055	0.1108
13	70 kHz	0.0366	0.1053	0.1111
14	80 kHz	0.0365	0.1030	0.1109
15	90 kHz	0.1639	0.1032	0.6079
16	100 kHz	0.0361	0.1085	0.1136

Dari Tabel 5.1 didapatkan hasil frekuensi terbaik yaitu 25 kHz, dimana selisih keluaran tegangan antar lubang konstan pada 0.03 V. Sehingga frekuensi yang digunakan pada pengembangan sistem adalah 25 kHz.



### 5.1.2 Uji Coba *Excitation Coil*

Pada pengujian *excitation coil* dilakukan beberapa kali percobaan dengan jumlah lilitan 50, 100, 150, dan 200. Pengujian dilakukan pada pipa, frekuensi yang digunakan 25 kHz. Pengujian dilakukan untuk menentukan jumlah lilitan terbaik yang dapat digunakan pada sistem yang dikembangkan. Jumlah lilitan mempengaruhi besar medan magnet yang dihasilkan oleh *excitation coil*. Besar medan magnet dapat diketahui menggunakan Persamaan 5.1.

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2 \sqrt{l^2 + a^2}} \quad (5.1)$$

Dimana  $\mu_0$  adalah permeabilitas magnetik ruang hampa,  $N$  adalah jumlah lilitan,  $I$  adalah arus,  $l$  adalah panjang penampang kumparan dan  $a$  adalah jari-jari medium kumparan. Perhitungan medan magnet setiap lilitan menggunakan Persamaan 5.1, hasil perhitungan dituliskan pada Tabel 5.2. Adapun hasil medan magnet diubah ke dalam satuan militesla (mT), karena kuat medan magnet yang didapatkan kecil dan menyesuaikan *datasheet* sensor GMR AAL002-02E yang juga menggunakan satuan militesla dalam spesifikasi rentang pembacaan.

Tabel 5.2. Medan magnet pada masing-masing lilitan

No	Jumlah Lilitan	Medan Magnet (mT)
1	50	0.54
2	100	1.08
3	150	1.62
4	200	2.16

Berdasarkan Tabel 5.2 semakin banyak jumlah lilitan akan menghasilkan medan magnet yang semakin besar, hal ini berbanding lurus dengan kuat *eddy current* yang diinduksikan oleh *excitation coil* pada permukaan pipa. Jumlah lilitan yang semakin banyak akan menghasilkan impedansi lebih besar, sehingga diperlukan sistem pembangkit sinyal yang mampu menyuplai *excitation coil* yang dibuat. Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, jumlah lilitan yang menghasilkan pembacaan terbaik dan mampu disuplai oleh sistem pembangkit sinyal yang dibuat adalah *excitation coil* dengan 150 lilitan.

### 5.1.3 Uji Coba Sistem *Data Logger*

Pengujian sistem *data logger* dilakukan untuk memastikan sistem *data logger* mampu menyimpan data pembacaan sensor dengan baik pada mikro SD. Pada pengujian sistem *data logger* diperlukan laptop yang terinstal aplikasi Arduino IDE dan kabel USB. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan mikrokontroler dengan laptop melalui komunikasi serial. Serial monitor pada aplikasi Arduino IDE digunakan untuk melihat pesan keberhasilan sistem mampu menyimpan data pada mikro SD. Indikator sistem *data logger* dikatakan berjalan dengan baik apabila pada tampilan serial monitor Arduino IDE menampilkan tulisan “Berhasil membuka Micro

SD". Gambar 5.1 menunjukkan bahwa pengujian sistem *data logger* berhasil dan mampu menyimpan data pembacaan pada mikro SD.

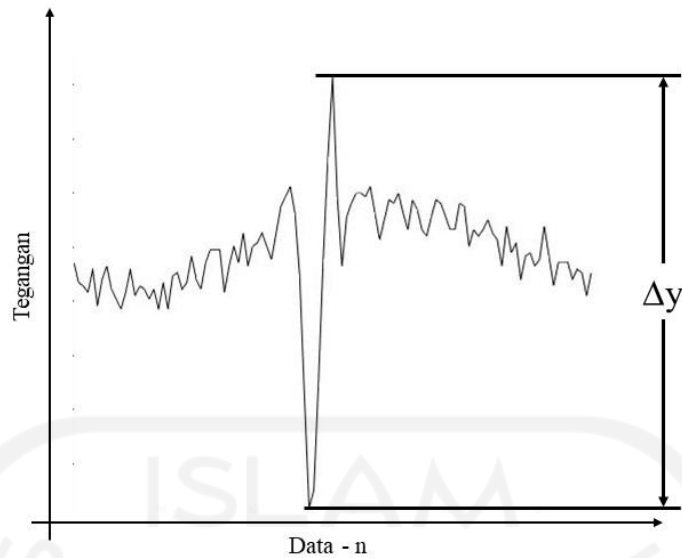


Gambar 5.1. Pengujian sistem *data logger*

## 5.2 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dilakukan dengan mencari karakteristik dan *error* pada masing-masing. Adapun sensor yang dikalibrasi adalah sensor pada alat SIECu-Pi yang terdiri dari sensor GMR AAL002-02E sebagai pembaca perubahan *eddy current* dan *excitation coil* sebagai pemancar medan elektromagnetik. Proses kalibrasi sensor diawali dengan mengambil data pembacaan masing-masing sensor di setiap lubang uji yang terdapat pada pipa. Dalam pengambilan data, sistem instrumentasi yang digunakan terdiri dari empat sensor terhubung dengan pembangkit sinyal. Data diambil secara bergantian pada masing-masing sensor dengan cara menggeser sensor melewati lubang dengan cepat. Ketika salah satu sensor digunakan mengambil data, tiga sensor lain dalam keadaan statis pada bagian pipa tidak terdapat lubang. Gambar 5.2 adalah sinyal pembacaan sensor ketika ada perubahan ketebalan pipa. Data yang diambil merupakan nilai dari  $\Delta y$ , nilai  $\Delta y$  merepresentasikan kedalaman lubang yang terdapat pada pipa. Ukuran ketebalan pipa adalah hasil pengurangan antara ketebalan pipa dengan kedalaman lubang pipa.

Pengambilan data sebanyak empat kali percobaan dengan 33 data pada setiap percobaan, sehingga terdapat 132 data. Dari data tersebut diambil sebanyak 33 data terbaik untuk memilih data dengan nilai pembacaan yang konsisten. Saat pengambilan data, sensor digerakkan secara manual menggunakan tangan, sehingga terdapat kemungkinan adanya pembacaan yang tidak konsisten. Dari 33 data yang telah didapatkan akan dipisah menjadi 23 data sebagai data model dan 10 data sebagai data validasi.



Gambar 5.2. Sinyal pembacaan GMR ketika terdapat lubang pada pipa

#### A. Karakterisasi Sensor

Proses karakterisasi sensor bertujuan untuk mencari karakteristik atau model masing-masing sensor. Proses karakterisasi sensor dilakukan dengan mengambil secara acak 23 data dari 33 data yang sudah didapatkan dan dicari nilai rata-ratanya untuk mencari persamaan regresi. Pemetaan persamaan regresi untuk mencari hubungan antara variabel  $x$  berupa kedalaman lubang dengan variabel  $y$  berupa nilai tegangan sensor. Fitur *linear trendline* pada *software Microsoft Excel* digunakan untuk mencari persamaan regresi linier. Persamaan regresi yang digunakan adalah regresi linier orde satu. Adapun persamaan regresi linier orde satu dituliskan pada Persamaan 5.2 dimana  $y$  merupakan nilai tegangan keluaran sensor,  $m$  adalah gradien,  $x$  adalah kedalaman lubang pada pipa dan  $b$  adalah koefisien regresi.

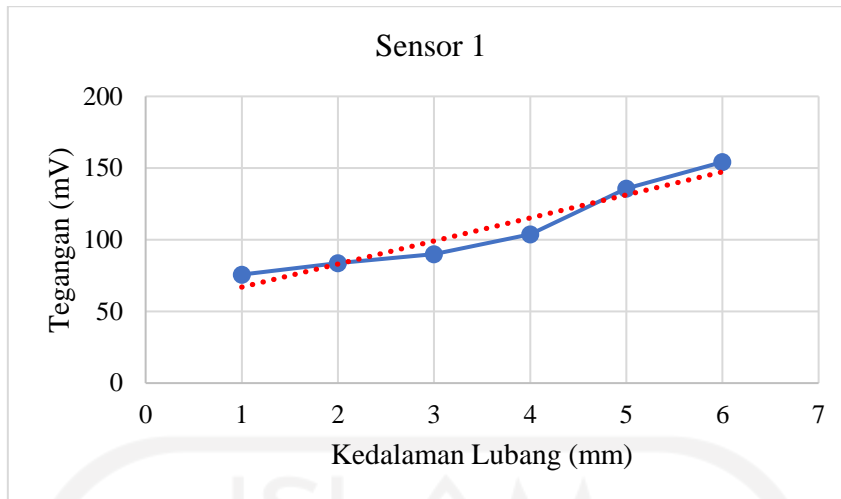
$$y = mx + b \quad (5.2)$$

#### a) Sensor 1

Setelah dilakukan percobaan, data pembacaan sensor satu dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan grafik hasil regresi terdapat pada Gambar 5.3.

Tabel 5.3. Hasil pembacaan sensor 1

Kedalaman Lubang (mm)	Rata-Rata $\Delta y$ (mV)
1	75.7030
2	83.6130
3	89.9874
4	103.7313
5	135.7439
6	154.2196



Gambar 5.3. Grafik regresi linier sensor 1

Berdasarkan hasil nilai pada sensor satu didapatkan karakteristik sesuai dengan Persamaan 5.3.

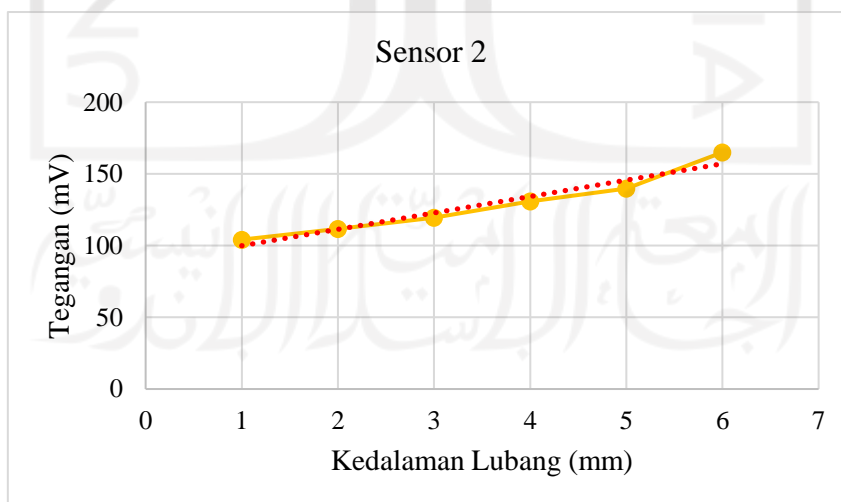
$$y_1 = 16.078x_1 + 50.894 \quad (5.3)$$

b) Sensor 2

Setelah dilakukan percobaan, data pembacaan sensor dua dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan grafik hasil regresi terdapat pada Gambar 5.4.

Tabel 5.4. Hasil pembacaan sensor 2

Kedalaman Lubang (mm)	Rata-Rata $\Delta y$ (mV)
1	104.1570
2	111.6783
3	119.3896
4	130.8991
5	139.7604
6	165.0274



Gambar 5.4. Grafik regresi linier sensor 2

Berdasarkan hasil nilai Tabel 5.4 pada sensor dua didapatkan karakteristik sesuai dengan Persamaan 5.4.

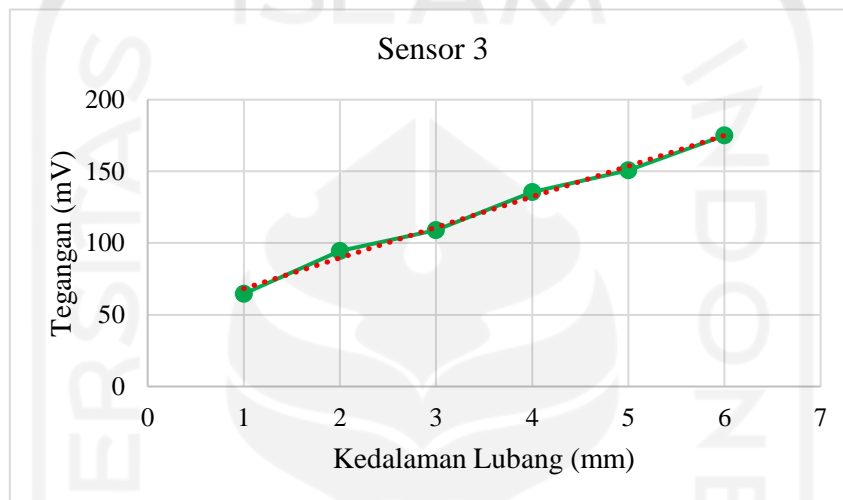
$$y_2 = 11.432x_2 + 88.474 \quad (5.4)$$

c) Sensor 3

Setelah dilakukan percobaan, data pembacaan sensor tiga dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan grafik hasil regresi terdapat pada Gambar 5.5.

Tabel 5.5. Hasil pembacaan sensor 3

Kedalaman Lubang (mm)	Rata-Rata $\Delta y$ (mV)
1	64.6683
2	94.5200
3	109.1465
4	135.7009
5	150.8204
6	175.0283



Gambar 5.5. Grafik regresi linier sensor 3

Berdasarkan hasil nilai Tabel 5.5 pada sensor tiga didapatkan karakteristik sesuai dengan Persamaan 5.5.

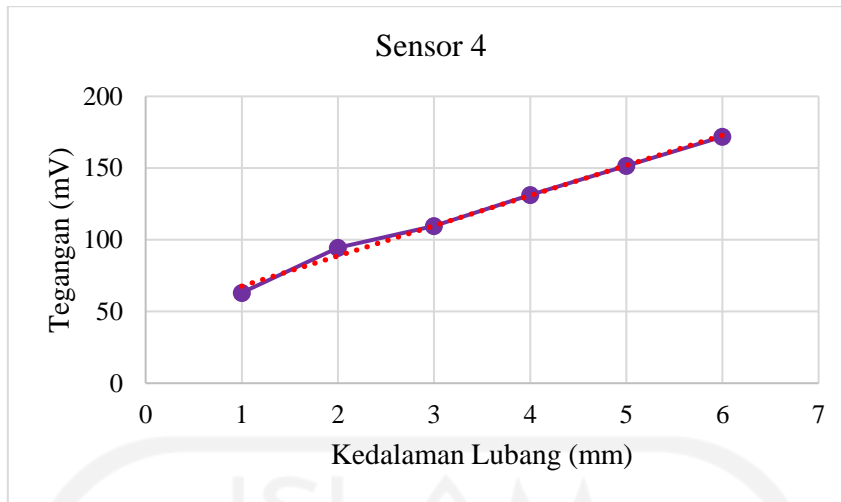
$$y_3 = 21.35x_3 + 46.922 \quad (5.5)$$

d) Sensor 4

Setelah dilakukan percobaan, data pembacaan sensor satu dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan grafik hasil regresi terdapat pada Gambar 5.6.

Tabel 5.6. Hasil pembacaan sensor 4

Kedalaman Lubang (mm)	Rata-Rata $\Delta y$ (mV)
1	63.1039
2	94.5183
3	109.6009
4	131.2135
5	151.5287
6	171.9222



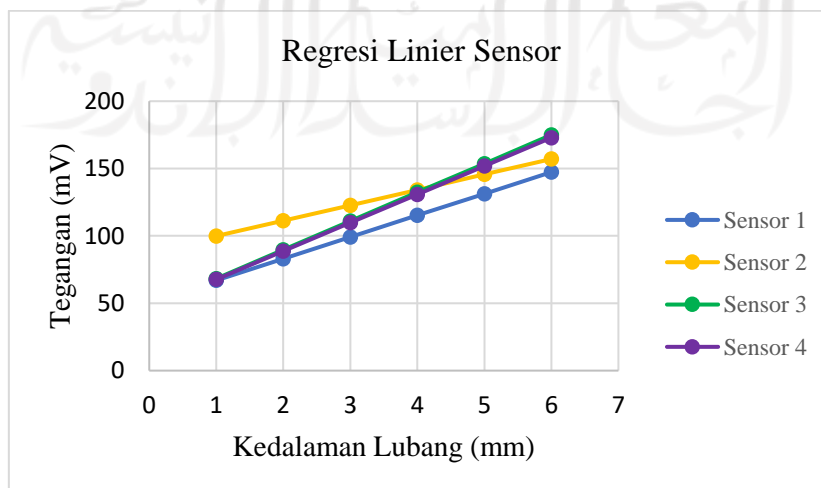
Gambar 5.6. Grafik regresi linier sensor 4

Berdasarkan hasil nilai Tabel 5.6 pada sensor empat didapatkan karakteristik sesuai dengan Persamaan 5.6.

$$y_4 = 21.05x_4 + 46.641 \quad (5.6)$$

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, regresi linier masing-masing sensor memiliki nilai yang berbeda. Hal ini menandakan setiap sensor memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Perbedaan karakteristik setiap sensor disebabkan oleh *excitation coil* yang dibuat dengan cara manual menggunakan tangan, cara ini memiliki risiko dapat menghasilkan *excitation coil* dengan tingkat kerapatan dan jari-jari kumparan tidak sama pada masing-masing sensor. Berdasarkan Persamaan 5.1, perbedaan ini memiliki pengaruh pada medan magnet yang dihasilkan oleh setiap sensor.

Dari hasil regresi linier yang didapatkan, dapat dilihat pada Gambar 5.7 bahwa hasil masing-masing sensor dapat dikatakan cukup linier. Sehingga, dapat disimpulkan sistem instrumentasi yang dibuat dapat membaca perbedaan perubahan ketebalan pipa sesuai spesifikasi yaitu 1 mm.



Gambar 5.7. Regresi linier sensor

## B. Error Pembacaan Sensor

Proses perhitungan *error* pembacaan sensor dilakukan dengan mengambil 10 data sebagai data validasi untuk dibandingkan dengan model atau persamaan regresi linier yang telah didapatkan pada proses karakterisasi. Kemudian, 10 data dimasukkan ke dalam persamaan regresi linier masing-masing sensor untuk mendapatkan kedalaman lubang. Hasil yang telah didapatkan, kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui *error* pembacaan sensor menggunakan *Mean Percentage Absolute Error* (MAPE). Adapun persamaan MAPE dituliskan pada Persamaan 5.7.

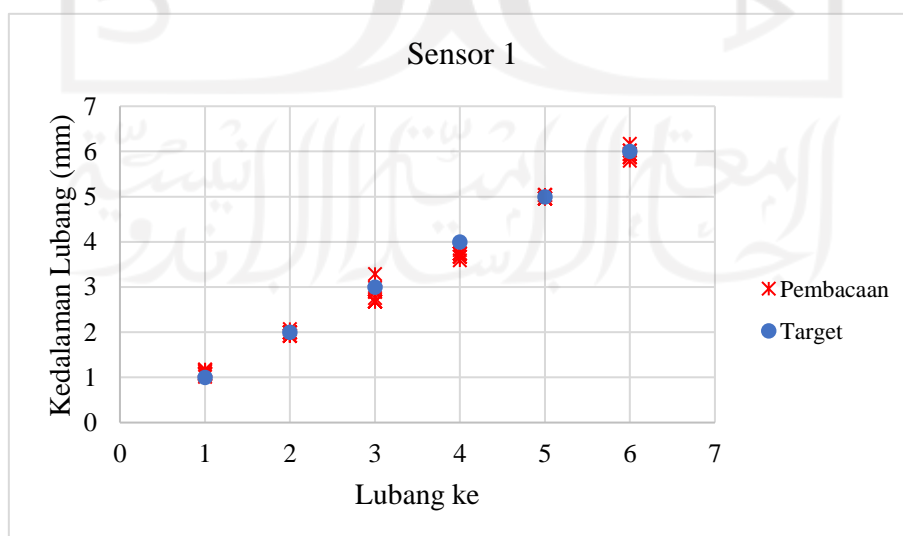
$$\%error = MAPE = \frac{1}{N} \sum_{N=1}^N \frac{|Prediksi - Validasi|}{Prediksi} \times 100 \quad (5.7)$$

### a) Sensor 1

Ukuran ketebalan pipa didapatkan dari pengurangan ketebalan pipa awal dengan kedalaman lubang. Kondisi ketebalan pipa yang didapatkan dari hasil pembacaan sensor satu seperti Tabel 5.7. Adapun perhitungan *error* pada sensor satu, didapatkan dari grafik perbandingan antara 10 data validasi dengan kedalaman lubang yang sudah diketahui pada pipa uji. Grafik perbandingan ditunjukkan pada Gambar 5.8 dan *error* setiap lubang pada Tabel 5.8.

Tabel 5.7. Ukuran ketebalan pipa ketika pembacaan sensor 1

Referensi		Pembacaan Sensor 1	
Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	8.27	1.1045	8.1655
2	7.27	1.9758	7.2942
3	6.27	2.8247	6.4453
4	5.27	3.7149	5.5551
5	4.27	4.9908	4.2792
6	3.27	5.9476	3.3224



Gambar 5.8. Grafik perbandingan 10 data validasi sensor 1 dengan nilai target

Tabel 5.8. *Error* sensor 1

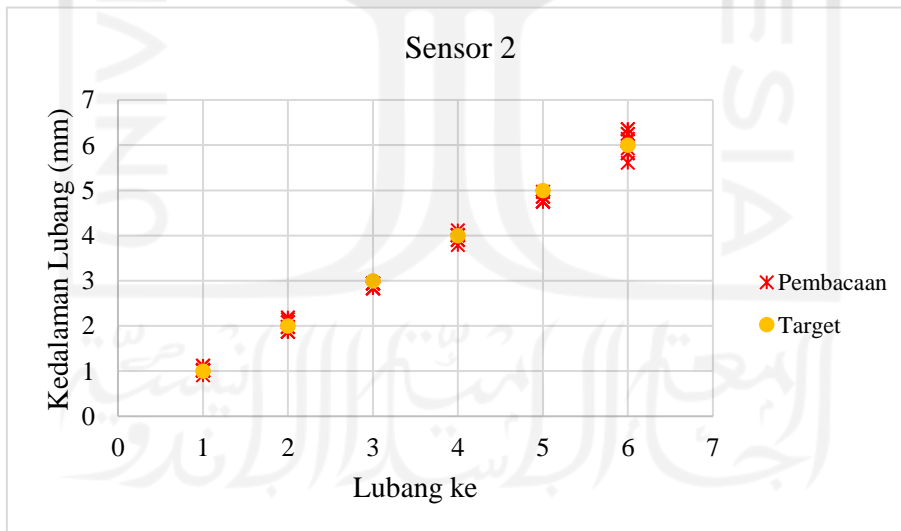
Lubang (mm)	<i>Error</i> (%)
1	10.4491
2	1.9561
3	7.7671
4	7.1278
5	0.7673
6	1.6159

b) Sensor 2

Ukuran ketebalan pipa didapatkan dari pengurangan ketebalan pipa awal dengan kedalaman lubang. Kondisi ketebalan pipa yang didapatkan dari hasil pembacaan sensor dua seperti Tabel 5.9. Adapun perhitungan *error* pada sensor dua, didapatkan dari grafik perbandingan antara 10 data validasi dengan kedalaman lubang yang sudah diketahui pada pipa uji. Grafik perbandingan ditunjukkan pada Gambar 5.9 dan *error* setiap lubang pada Tabel 5.10.

Tabel 5.9. Ukuran ketebalan pipa ketika pembacaan sensor 2

Referensi		Pembacaan Sensor 2	
Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	8.27	1.0315	8.2385
2	7.27	2.0076	7.2624
3	6.27	2.8881	6.3819
4	5.27	3.9668	5.3032
5	4.27	4.8308	4.4392
6	3.27	6.0674	3.2026



Gambar 5.9. Grafik perbandingan 10 data validasi sensor 2 dengan nilai target

Tabel 5.10. *Error* sensor 2

Lubang (mm)	<i>Error</i> (%)
1	4.9090
2	4.7787
3	3.7293
4	1.6546
5	3.3835
6	3.8092

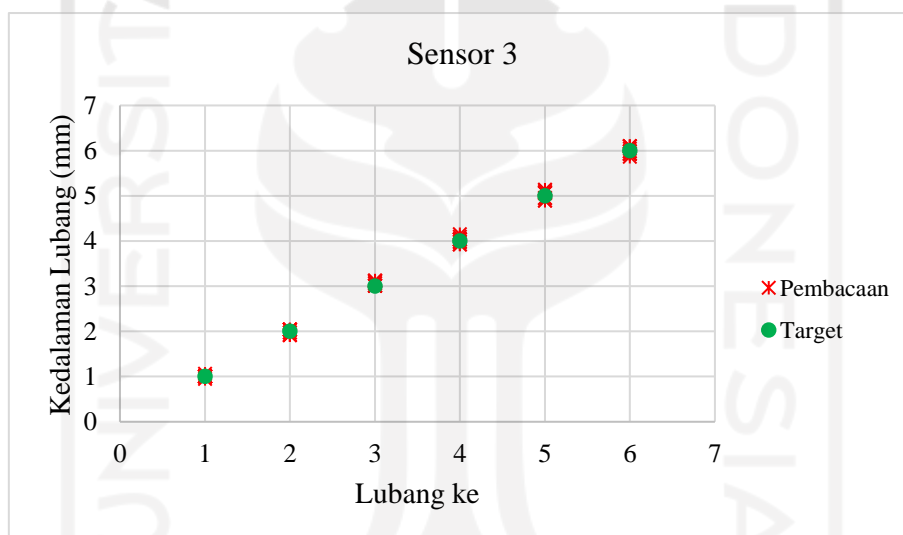


c) Sensor 3

Ukuran ketebalan pipa didapatkan dari pengurangan ketebalan pipa awal dengan kedalaman lubang. Kondisi ketebalan pipa yang didapatkan dari hasil pembacaan sensor tiga seperti Tabel 5.11. Adapun perhitungan *error* pada sensor tiga, didapatkan dari grafik perbandingan antara 10 data validasi dengan kedalaman lubang yang sudah diketahui pada pipa uji. Grafik perbandingan ditunjukkan pada Gambar 5.10 dan *error* setiap lubang pada Tabel 5.12.

Tabel 5.11. Ukuran ketebalan pipa ketika pembacaan sensor 3

Referensi		Pembacaan Sensor 3	
Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	8.27	1.0048	8.2652
2	7.27	1.9885	7.2815
3	6.27	3.0613	6.2087
4	5.27	4.0188	5.2512
5	4.27	5.0222	4.2478
6	3.27	5.9918	3.2782



Gambar 5.10. Grafik perbandingan 10 data validasi sensor 3 dengan nilai target

Tabel 5.12. *Error* sensor 3

Lubang (mm)	<i>Error</i> (%)
1	1.5241
2	2.2904
3	2.0437
4	1.4667
5	1.6858
6	1.2087

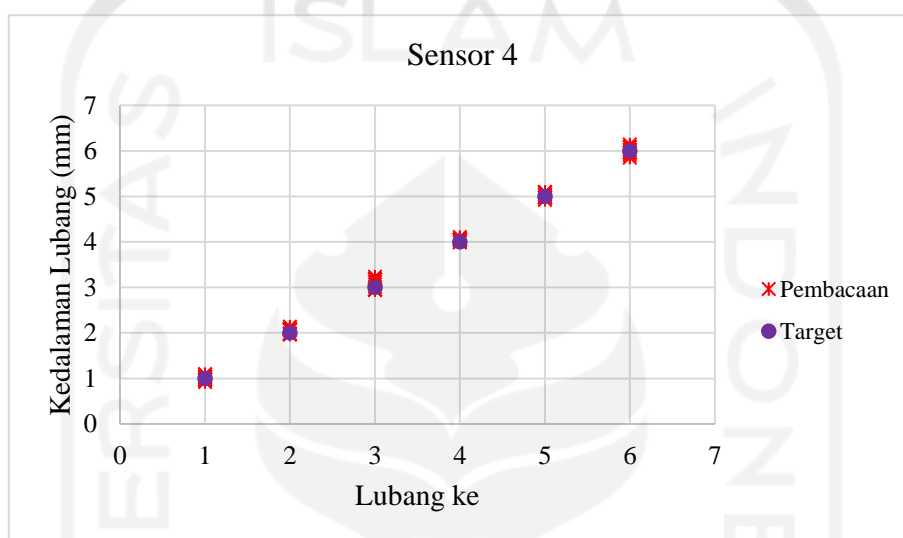
d) Sensor 4

Ukuran ketebalan pipa didapatkan dari pengurangan ketebalan pipa awal dengan kedalaman lubang. Kondisi ketebalan pipa yang didapatkan dari hasil pembacaan sensor dua seperti Tabel 5.13. Adapun perhitungan *error* pada sensor empat, didapatkan dari grafik

perbandingan antara 10 data validasi dengan kedalaman lubang yang sudah diketahui pada pipa uji. Grafik perbandingan ditunjukkan pada Gambar 5.11 dan *error* setiap lubang pada Tabel 5.14.

Tabel 5.13. Ukuran ketebalan pipa ketika pembacaan sensor 4

Referensi		Pembacaan Sensor 4	
Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	9.27	1.0062	8.2638
2	9.27	2.0505	7.2195
3	9.27	3.0801	6.1899
4	9.27	4.0434	5.2266
5	9.27	5.0173	4.2527
6	9.27	5.9979	3.2721



Gambar 5.11. Grafik perbandingan 10 data validasi sensor 4 dengan nilai target

Tabel 5.14. *Error* sensor 4

Lubang (mm)	<i>Error</i> (%)
1	4.6366
2	3.3577
3	3.7365
4	1.1786
5	1.0432
6	1.1607

Berdasarkan hasil perhitungan *error*, dapat disimpulkan setiap sensor menghasilkan rata-rata *error* seperti pada Tabel 5.15. Nilai *error* pada setiap sensor yang didapatkan kurang dari 5%, sehingga sistem instrumentasi yang dibuat sudah sesuai dengan spesifikasi yang diusulkan.

Tabel 5.15. Rata-rata *error* sensor

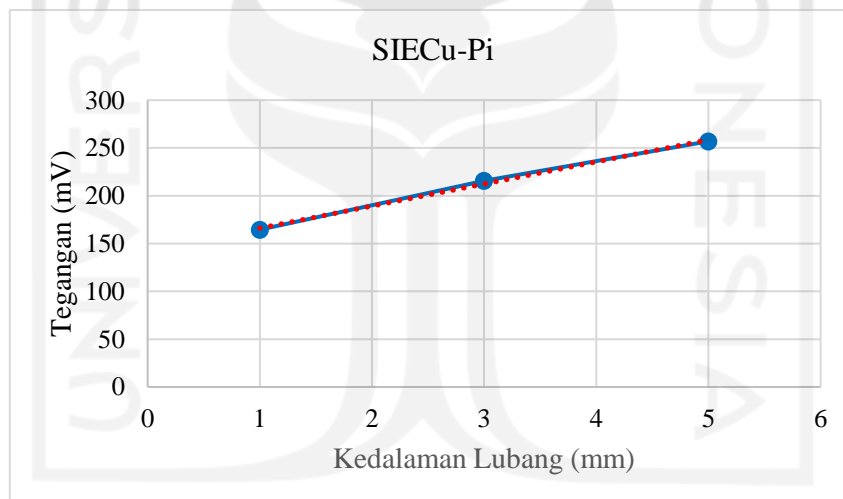
Sensor	Rata-Rata <i>Error</i> (%)
1	4.9472
2	3.7107
3	1.7033
4	2.5189

### 5.3 Pengujian di CV. Krakret Technology

Pengujian dilakukan pada pipa di CV. Krakret Technology dengan cara memasang SIECu-Pi pada *prototype* PIG. Sensor yang dipasang sebanyak empat sensor di empat arah mata angin. Pemasangan sensor dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pengujian dilakukan dengan cara menarik PIG secara manual sebanyak 10 kali. PIG bergerak melewati lubang 1 mm, 3 mm, dan 5 mm yang terletak di titik yang berbeda. Setelah dilakukan pengambilan data dari mikro SD, diketahui sensor yang mendeteksi lubang adalah sensor 2, sensor 3, dan sensor 4. Data hasil pengujian yang didapatkan diolah dengan cara yang sama dengan pengolahan data pengujian laboratorium, dimana 7 data untuk mencari persamaan regresi dan 3 data untuk validasi. Setelah dilakukan percobaan, data pembacaan sensor SIECu-Pi dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan grafik hasil regresi terdapat pada Gambar 5.12.

Tabel 5.16. Hasil pembacaan SIECu-Pi

Kedalaman Lubang (mm)	Rata-Rata $\Delta y$ (mV)
1	164.5029
3	215.5957
5	256.9043



Gambar 5.12. Grafik regresi linier SIECu-Pi

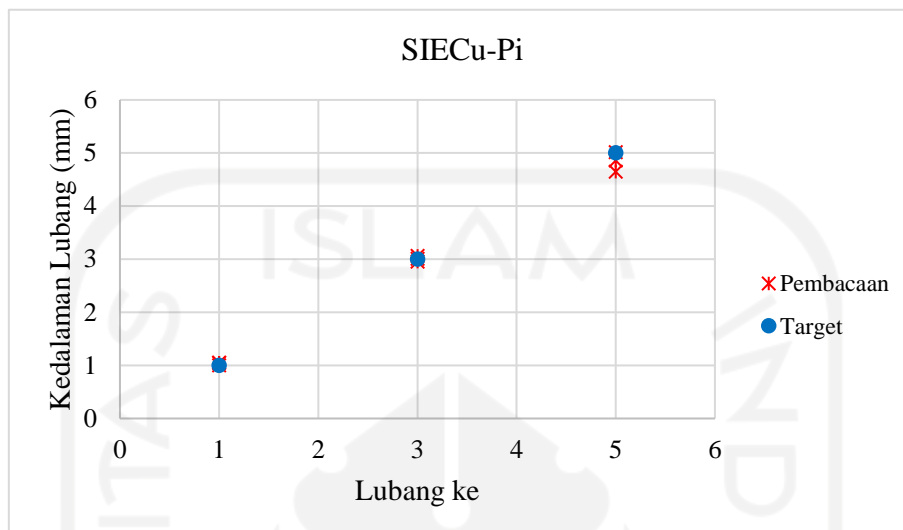
Berdasarkan hasil nilai Tabel 5.16 pada sensor SIECu-Pi didapatkan karakteristik sesuai dengan Persamaan 5.8.

$$y = 23.1x + 143.03 \quad (5.8)$$

Ukuran ketebalan pipa didapatkan dari pengurangan ketebalan pipa awal dengan kedalaman lubang. Kondisi ketebalan pipa yang didapatkan dari hasil pembacaan alat SIECu-Pi seperti Tabel 5.17. Adapun perhitungan *error* pada SIECu-Pi, didapatkan dari grafik perbandingan antara 3 data validasi dengan kedalaman lubang yang sudah diketahui pada pipa. Grafik perbandingan ditunjukkan pada Gambar 5.13 dan *error* setiap lubang pada Tabel 5.18.

Tabel 5.17. Ukuran ketebalan pipa ketika pembacaan SIECu-Pi

Referensi		Pembacaan SIECu-Pi	
Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	8.27	1.0320	8.2380
3	6.27	3.0055	6.2645
5	4.27	4.8385	4.4315



Gambar 5.13. Grafik perbandingan 3 data validasi SIECu-Pi dengan nilai target

Tabel 5.18. Error SIECu-Pi

Lubang (mm)	Error (%)
1	3.4055
3	1.2314
5	3.4141

Berdasarkan hasil pengujian, nilai rata-rata pembacaan sensor menunjukkan nilai kurang dari 5% yaitu sebesar 2.6837%. Hasil pengujian pada pipa di CV. Krakret Technology dibandingkan dengan pengujian laboratorium pada kedalaman lubang yang sama memiliki nilai pembacaan sensor berbeda. Hal ini menjadi hal yang wajar pada inspeksi pipa, sehingga pada praktiknya dilakukan kalibrasi sebelum inspeksi dilakukan. Selain itu, ketika pengujian pada pipa di CV. Krakret Technology jarak sensor dengan pipa tidak konsisten yang disebabkan oleh keterbatasan alat pengujian.

Perbandingan kinerja sistem SIECu-Pi saat uji coba lapangan dengan perancangan didapatkan hasil yang sama bagusnya, dimana hasil pembacaan sensor ketika mendeteksi perbedaan kedalaman lubang menunjukkan hasil pembacaan yang linier dan memiliki error pembacaan dibawah toleransi error 5%. Kinerja sistem SIECu-Pi ketika dibandingkan dengan jasa inspeksi pipa konvensional dapat dikatakan lebih baik, meskipun masih menggunakan empat sensor. Karena SIECu-Pi mampu mendeteksi kondisi pipa dengan tingkat kehilangan data pembacaan yang lebih kecil.

Perbandingan *prototype* PIG SIECu-Pi dengan PIG yang digunakan oleh perusahaan inspeksi pipa, masih memiliki kekurangan dalam perancangan diantaranya PIG belum kedap air, belum bisa mendeteksi lokasi perubahan pipa, dan masih dijalankan secara manual menggunakan tangan.

## 5.4 Dampak Implementasi Sistem

Adapun fitur yang menjadi keunggulan dari SIECu-Pi terletak pada aspek ketepatan pembacaan yaitu mampu membaca perubahan ketebalan pipa sebesar 1 mm dan aspek kelengkapan data. Selain itu, sistem yang dibuat memiliki harga yang lebih murah dibandingkan alat yang sudah ada. Adapun dampak implementasi SIECu-Pi dijelaskan pada sub bab 5.4.1, 5.4.2, dan 5.4.3.

### 5.4.1 Teknologi/Inovasi

Pengujian menggunakan metode *eddy current* merupakan salah satu metode NDT yang dapat digunakan dalam pengukuran, deteksi maupun pengecekan pada benda uji berbahan logam. Penggunaan NDT menggunakan metode *eddy current* bertujuan untuk mengetahui adanya anomali pada benda logam yang diuji tanpa merusak benda uji. Untuk menganalisis dampak implementasi SIECu-Pi pada aspek teknologi maupun inovasi dilakukan perbandingan fitur atau komponen yang ada pada SIECu-Pi dengan teknologi alat yang dibuat pada studi literatur. Tabel 5.19 merupakan penjelasan perbandingan SIECu-Pi dengan hasil studi literatur.

Tabel 5.19. Perbandingan fitur SIECu-Pi dengan hasil studi literatur

No	Fitur/Komponen	SIECu-Pi	Porto, dkk [13]	Ramirez, dkk [14]	Keshwani dan Bhattacharya [15]
1	<i>Excitation coil</i>	<i>Wire coil</i> atau lilitan dari kawat tembaga.	<i>Wire coil</i> atau lilitan dari kawat tembaga.	<i>Flat coil</i> atau lilitan pada papan PCB.	<i>Wire coil</i> dengan inti besi.
2	Sensor	Menggunakan sensor GMR sebagai <i>receiver</i> atau pendeteksi perubahan sinyal.	Menggunakan sensor GMR sebagai <i>receiver</i> atau pendeteksi perubahan sinyal.	Menggunakan sensor GMR sebagai <i>receiver</i> atau pendeteksi perubahan sinyal.	Menggunakan sensor hall sebagai <i>receiver</i> atau pendeteksi perubahan sinyal.
3	Pengaplikasian	Diaplikasikan pada <i>Pipeline Inspection Gauge</i> untuk mengukur perubahan ketebalan pipa.	Diaplikasikan pada plat besi datar. Diaplikasikan satu sensor.	Diaplikasikan pada plat aluminium. Diaplikasikan satu sensor.	Diaplikasikan pada <i>Pipeline Inspection Gauge</i> untuk mengukur perubahan ketebalan pipa.
4	Penyimpanan data	Menggunakan <i>data logger</i> dan disimpan pada mikro SD.	Tidak ada	Tidak ada	Tidak di jelaskan
5	Akurasi	1 mm	0.8 mm	2 mm	6 mm

Hasil pengujian SIECu-Pi lebih bagus jika dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya, karena pengujian sudah menggunakan pipa yang biasa digunakan di industri. Penggunaan sensor GMR sebagai instrumentasi pada PIG juga merupakan sebuah inovasi baru, dimana pada penelitian sebelumnya sensor GMR digunakan pada bahan uji plat datar.

#### **5.4.2 Ekonomi**

Implementasi SIECu-Pi berdampak pada aspek ekonomi khususnya pada sisi pembangunan sistem dan mampu menekan biaya operasional inspeksi pipa. Pada sisi pembangunan sistem, meskipun masih dalam bentuk *prototype*, SIECu-Pi dapat menjadi alternatif pembuatan sistem inspeksi pipa berbasis *eddy current* dengan biaya terjangkau. Pada sisi biaya operasional inspeksi pipa, implementasi SIECu-Pi dapat menekan biaya operasional yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan untuk membayar jasa inspeksi konvensional. Inspeksi pipa konvensional masih dilakukan oleh manusia dengan berjalan sepanjang pipa dan melakukan pengecekan pada permukaan pipa menggunakan alat inspeksi. Inspeksi pipa dengan cara ini tentunya membutuhkan tenaga dan waktu yang lebih lama, sehingga membutuhkan biaya yang lebih besar.

#### **5.4.3 Lingkungan**

SIECu-Pi berdampak positif terhadap lingkungan, pipa berbahan logam banyak diaplikasikan dalam proses distribusi pada industri MIGAS. Selain itu, pipa juga digunakan di berbagai industri yang membutuhkan pipa untuk proses distribusi apapun. SIECu-Pi sangat bermanfaat bagi industri MIGAS atau industri lain untuk mengetahui kondisi pipa, sehingga dapat meminimalisir terjadinya pencemaran lingkungan akibat kebocoran pipa.

## BAB 6 : Kesimpulan dan Saran

### 6.1 Kesimpulan

Sistem instrumentasi inspeksi pipa dibutuhkan dalam industri minyak dan gas untuk mengetahui kondisi apakah terdapat keretakan maupun perubahan ketebalan pada pipa distribusi. Hal ini sangat bermanfaat sebagai pencegahan sebelum pipa distribusi mengalami kebocoran yang dapat mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian. SIECu-Pi merupakan sistem instrumentasi berbasis *eddy current* yang dirancang untuk mendeteksi perubahan ketebalan pada pipa berbahan logam.

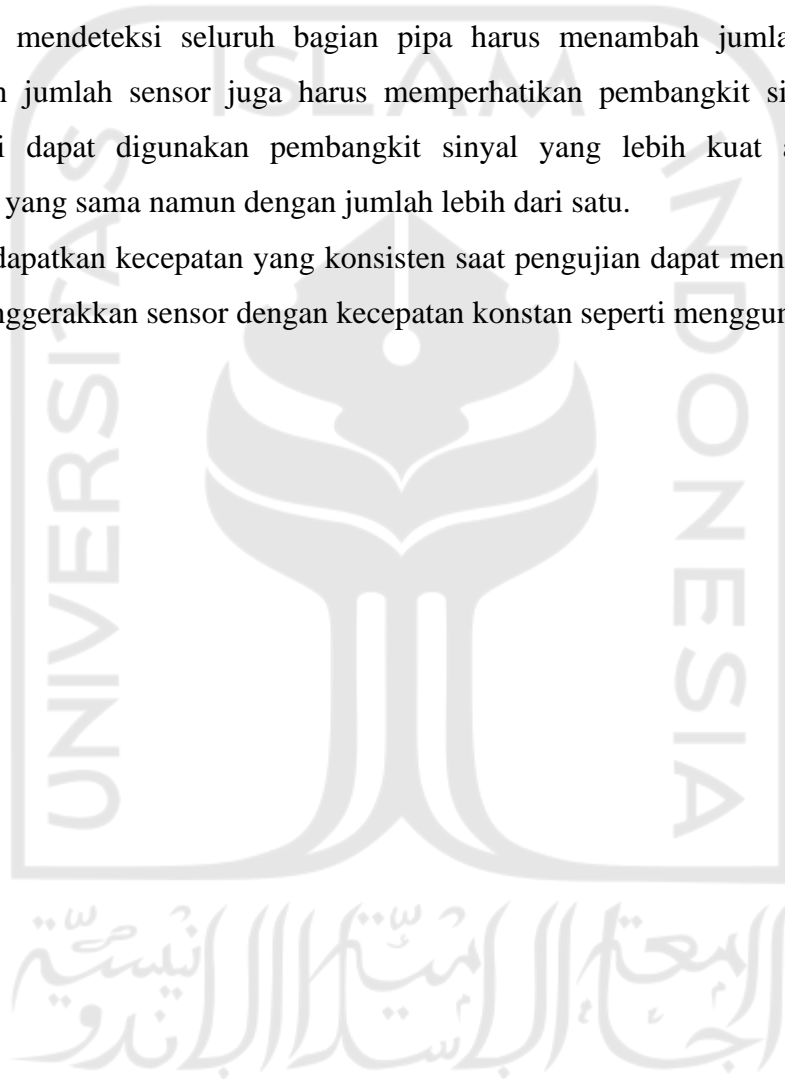
Dalam implementasinya, SIECu-Pi dapat dipasang pada *Pipeline Inspection Gauge* (PIG). SIECu-Pi memiliki spesifikasi mampu mendeteksi perubahan ketebalan pipa dengan kecepatan antara 0.5 – 2 m/s, akurasi 1 mm dan toleransi error 5%. Serta Data mentah/*raw* data hasil pembacaan alat disimpan pada piranti penyimpanan sebelum dilakukan analisis. Agar dapat memenuhi spesifikasi tersebut, alat yang diusulkan menggunakan baterai *Li-Ion* 24 VDC sebagai catu daya, modul DDS AD9850 sebagai *wave generator*, rangkaian VCCS sebagai konverter sumber tegangan menjadi sumber arus, *excitation coil* dari lilitan kawat tembaga, sensor GMR sebagai *receiver* atau pembaca perubahan sinyal *eddy current*, penguat INA125, mikrokontroler Arduino DUE dan mikro SD sebagai media penyimpanan data hasil pembacaan. Dari hasil pengujian pada *prototype* SIECu-Pi dapat disimpulkan:

1. SIECu-Pi mampu mendeteksi perubahan ketebalan pipa dengan akurasi 1mm, dibuktikan dengan hasil uji coba laboratorium yang telah dilakukan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan empat buah sensor. Hasil pengujian menunjukkan karakteristik sensor yang dibuat memiliki karakteristik berbeda. Perbedaan karakteristik ini disebabkan oleh pembuatan *excitation coil* masih manual.
2. Hasil pembacaan masing-masing sensor memiliki nilai *error* yang berbeda-beda. Sensor 1 memiliki *error* sebesar 4.9472%, sensor 2 sebesar 3.7107%, sensor 3 sebesar 1.7033%, dan sensor 4 sebesar 2.5189%. Nilai *error* pembacaan masing-masing sensor masih dibawah toleransi *error* yang diusulkan yaitu 5%.
3. Hasil pengujian pada pipa di CV. Krakret Technology mendapatkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan pengujian laboratorium. Pada kedalaman lubang yang sama memiliki nilai pembacaan sensor berbeda. Hasil pembacaan alat memiliki rata-rata *error* sebesar 2.6837%.
4. Data hasil pembacaan SIECu-Pi dapat disimpan pada mikro SD.

## 6.2 Saran

Pada pembuatan sistem instrumentasi SIECu-Pi, masih terdapat beberapa kekurangan diantaranya adalah karakteristik sensor yang berbeda-beda, sensor tidak dapat membaca keseluruhan permukaan pipa, dan kecepatan gerak sensor yang tidak konsisten dalam pengujian. Maka terdapat saran yang dapat dilakukan dalam pengembangan sistem instrumentasi SIECu-Pi,

1. Desain *excitation coil* dapat diperbaiki menggunakan *flat PCB* agar jumlah lilitan, dan diameter lilitan terjamin keseragamannya oleh desain PCB yang dibuat. Jika tidak menggunakan flat PCB bisa menggunakan mesin agar konsisten dalam melilit tembaga.
2. Agar dapat mendeteksi seluruh bagian pipa harus menambah jumlah sensor. Namun, penambahan jumlah sensor juga harus memperhatikan pembangkit sinyal. Saran, untuk masalah ini dapat digunakan pembangkit sinyal yang lebih kuat atau menggunakan pembangkit yang sama namun dengan jumlah lebih dari satu.
3. Untuk mendapatkan kecepatan yang konsisten saat pengujian dapat menggunakan alat yang mampu menggerakkan sensor dengan kecepatan konstan seperti menggunakan motor.

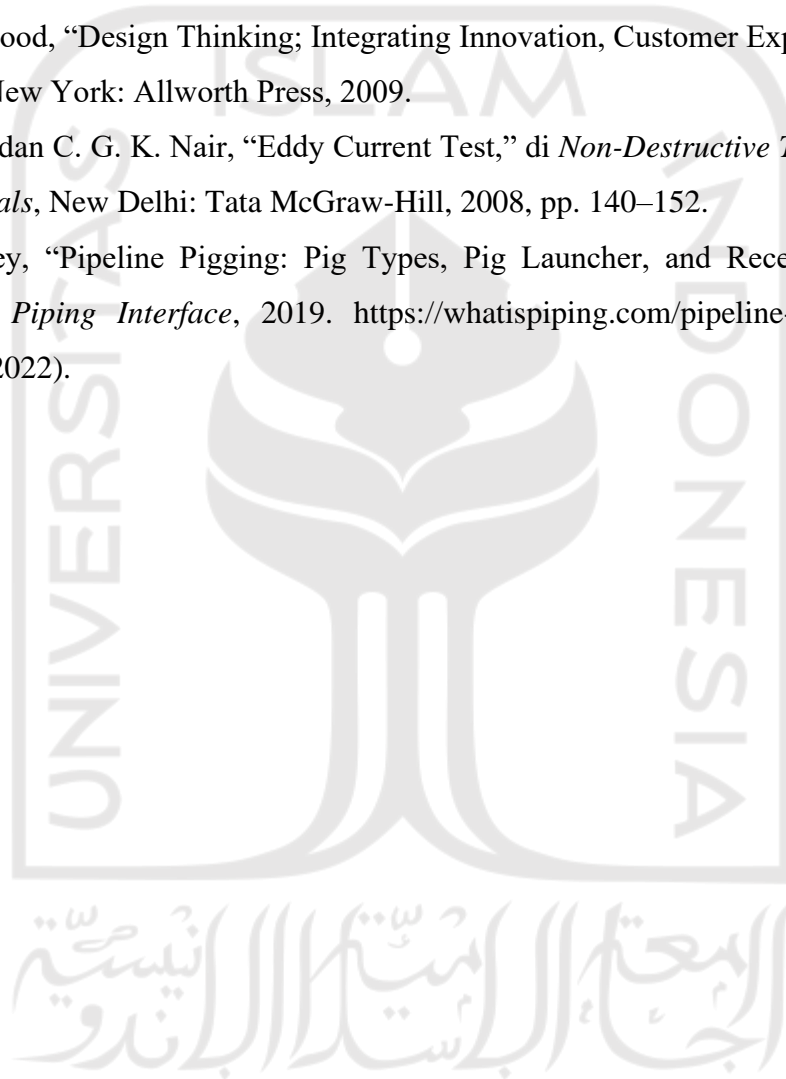




## Daftar Pustaka

- [1] BPS, “Produksi Beberapa Hasil Kilang Minyak dan Gas menurut Jenis Hasil Kilang (000 Barrel),” *Badan Pusat Statistik*, 2020. <https://www.bps.go.id/statictable/2014/09/18/1097/produksi-beberapa-hasil-kilang-minyak-dan-gas-menurut-jenis-hasil-kilang-barel-2000-2018.html> (akses 25 Oktober 2021).
- [2] Menteri ESDM RI, “Daftar Badan Usaha Hilir MIGAS,” *Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Minyak Dan Gas Bumi*, 2019. <https://migas.esdm.go.id/post/read/badan-usaha-hilir> (akses 25 Oktober 2021).
- [3] Sulardi, “Inspeksi Teknik Sistem Perpipaan Industri MIGAS,” *JIEOM*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2019.
- [4] Menteri ESDM RI, “Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2018,” 2018. [https://jdih.esdm.go.id/peraturan/Permen ESDM Nomor 18 Tahun 2018.pdf](https://jdih.esdm.go.id/peraturan/Permen%20ESDM%20Nomor%2018%20Tahun%202018.pdf) (akses 1 Desember 2021).
- [5] D. Chandra, “Analisis Kendalan Pipa Terhadap Kelelahan Akibat Pitting Corrosion,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [6] N. Theresia, “Analisis Pengaruh Lebar Crack pada Material Baja Karbon A36 dengan Variasi Ketebalan Non Conductive Coating pada Sambungan Las di Pondasi Mesin Kapal Menggunakan Metode Eddy Current Testing (ECT),” Surabaya, 2017.
- [7] J. G. N-Mart, J. Gomez-Gil, dan E. Vazquez-Sanchez, “Non-Destructive Techniques Based on Eddy Current Testing,” *Sensors*, vol. 11, pp. 2525–2565, 2011.
- [8] Soedardjo, “Pengukuran Tebal Pipa Terselubung dengan Teknik Radiografi Tangensial menggunakan Sumber Iridium 192,” *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi*, pp. 229–235, 2000.
- [9] M. Jolly, dkk, “Review of Non-Destructive Testing (NDT) Techniques and Their Applicability to Thick Walled Composites,” *Procedia CIRP*, vol. 38, pp. 129–136, 2015.
- [10] S. Widharto, “Status NDT di Indonesia,” di *Seminar Sehari Asosiasi Uji Tak Merusak Indonesia (AUTRI)*, Jakarta, 1998, p. 4.
- [11] M. Tarin dan R. Rotolante, “NDT in Composite Materials With Flash, Transient, and Lock-in Thermography,” *InfraMation*, pp. 1–8, 2010.
- [12] G. Piao, J. Guo, T. Hu, dan Y. Deng, “High-Speed Inspection Method Fusing Pulsed Eddy Current and Magnetic Flux Leakage,” *IEEE Instrumentation and Measurement Society*, pp. 1–6, 2019.

- [13] R. W. Porto, V. J. Brusamarello, R. Azambuja, dan O. F. Jr., "Design and Analysis of a GMR Eddy Current Probe for NDT," *Seventh International Conference on Sensing Technology*, pp. 424–429, 2013.
- [14] E. Ramirez-Pacheco, J. H. Espina-Hernandez, F. Caleyó, dan J. M. Hallen, "Defect Detection in Aluminium with an Eddy Current Sensor," *Electronics Robotics and Automotive Mechanics Conference*, pp. 765–770, 2010.
- [15] R. Keshwani dan S. Bhattacharya, "Design and Optimization of Eddy Current Sensor for Instrumented Pipeline Inspection Gauge," *Sensor Review*, vol. 28, no. 4, pp. 321–325, 2008.
- [16] T. Lockwood, "Design Thinking; Integrating Innovation, Customer Experience, and Brand Value," New York: Allworth Press, 2009.
- [17] J. Prasad dan C. G. K. Nair, "Eddy Current Test," di *Non-Destructive Test and Evaluation of Materials*, New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2008, pp. 140–152.
- [18] A. K. Dey, "Pipeline Pigging: Pig Types, Pig Launcher, and Receiver," *Mechanical, Pipeline, Piping Interface*, 2019. <https://whatispiping.com/pipeline-pigging/> (akses 9 Agustus 2022).



## LAMPIRAN – LAMPIRAN

- Lembar Saran Penguji Internal



Universitas Islam Indonesia  
Fakultas teknologi industri  
Program Studi Teknik Elektro

---

PERBAIKAN TUGAS AKHIR YANG DISARANKAN  
PADA WAKTU UJIAN TUGAS AKHIR  
Tanggal Ujian: 4 Agustus 2022

---

Dosen Penguji

Nama : Ir. Medilla Kusriyanto, S.T., M.Eng., IPM.

---

Kelompok yang diuji

Kelompok : NA3

Judul : SIECu-Pi: Sistem Instrumentasi Berbasis Eddy Current pada Pipeline  
Inspection Gauge (PIG) untuk Mengukur Ketebalan Pipa

---

Saran/Komentar :

1. Batasan realistis dari pemakaian alat.
2. Kesimpulan no. 4. dihilangkan.
3. flowchart program dimunculkan di Laporan.
4. Batasan masalah.
5. Analisis sistem secara keseluruhan.
6. Gambar rangkaian. (rangkaiannya sederhana)  
sebaiknya muncul & perancangannya.

▪ Lembar Saran Penguji External

LEMBAR PENILAIAN PENGUJI EKSTERNAL

Nama Penguji	Budi Haryono
Nama Mahasiswa	UNGGUL PRIAMBODO
NIM	18524058
Judul	Deteksi Lokasi Kebocoran pada Pipa Rumah Tangga (PVC)

CPMK	Kategori	Bobot	Penilai	1 (Nilai <60)	2 (Nilai 60 - 70)	3 (Nilai 70 - 80)	4 (Nilai >80)
CPMK 1 Mahasiswa mampu menawarkan solusi yang mampu memberikan kontribusi atau nilai tambah bagi pengguna / kelompok masyarakat.	Solusi yang diberikan sesuai dengan problem	5%	Eksternal	Solusi tidak menjawab problem yang disampaikan	Solusi kurang sesuai dengan problem	Solusi sesuai dengan problem	Solusi sangat sesuai dengan problem
	Solusi memungkinkan diimplementasikan dan punya dampak (nilai tambah)	10%	Eksternal	Solusi sulit diimplementasikan dan tidak memiliki nilai tambah	Solusi memungkinkan untuk diimplementasikan, dan kurang mempunyai nilai tambah	Solusi bisa diimplementasikan, mempunyai nilai tambah	Solusi sangat mungkin diimplementasikan dan nilai tambahnya cukup tinggi.
CPMK 2 Mahasiswa mampu mendesain solusi atas permasalahan yang telah ditetapkan dan mampu melakukan proses validasi dan re-check dari purwarupa yang telah dilakukan dan melakukan re-engineering/re-design jika diperlukan	Alat berfungsi dan dilakukan pengujian	10%	Eksternal	Alat tidak berfungsi sesuai dengan rancangan dan belum dilakukan pengujian.	Alat berfungsi 60% sesuai dengan rancangan dan sudah dilakukan pengujian dengan hasil yang kurang bagus	Alat berfungsi 70% sesuai dengan rancangan dan sudah dilakukan pengujian dengan hasil yang cukup bagus	Alat berfungsi minimal 80% sesuai dengan rancangan dan sudah dilakukan pengujian dengan hasil yang bagus
CPMK 3 Mahasiswa mampu mendemonstrasikan kemampuan bekerja sama dalam tim	Poster dan presentasi (Ekspo)	15%	Eksternal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isinya kurang informatif dan layout kurang menarik</li> <li>Mahasiswa tidak bisa menjelaskan dan menjawab pertanyaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isinya cukup informatif dan layout cukup menarik</li> <li>Mahasiswa bisa menjelaskan namun kurang mampu menjawab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isinya informatif dan layout cukup menarik</li> <li>Mahasiswa bisa menjelaskan dan mampu menjawab pertanyaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isinya informatif dan layout sangat menarik</li> <li>Mahasiswa bisa menjelaskan dan mampu menjawab pertanyaan</li> </ul>

secara keseluruhan mhs dapat menjelaskan dr problem sampai solusi  
 Namun terkait dg implementasi masih perlu disesuaikan dg industri

LEMBAR PENILAIAN PENGUJI EKSTERNAL

Nama Penguji	Budi Haryono
Nama Mahasiswa	Mohamad Rohmannuddin Yusuf
NIM	18524063
Judul	Deteksi Lokasi Kebocoran pada Pipa Rumah Tangga (PVC)

CPMK	Kategori	Bobot	Penilai	1 (Nilai <60)	2 (Nilai 60 - 70)	3 (Nilai 70 - 80)	4 (Nilai >80)
CPMK 1 Mahasiswa mampu menawarkan solusi yang mampu memberikan kontribusi atau nilai tambah bagi pengguna / kelompok masyarakat.	Solusi yang diberikan sesuai dengan problem	5%	Eksternal	Solusi tidak menjawab problem yang disampaikan	Solusi kurang sesuai dengan problem	Solusi sesuai dengan problem	Solusi sangat sesuai dengan problem
	Solusi memungkinkan diimplementasikan dan punya dampak (nilai tambah)	10%	Eksternal	Solusi sulit diimplementasikan dan tidak memiliki nilai tambah	Solusi memungkinkan untuk diimplementasikan, dan kurang mempunyai nilai tambah	Solusi bisa diimplementasikan, mempunyai nilai tambah	Solusi sangat mungkin diimplementasikan dan nilai tambahnya cukup tinggi.
CPMK 2 Mahasiswa mampu mendesain solusi atas permasalahan yang telah ditetapkan dan mampu melakukan proses validasi dan re-check dari purwarupa yang telah dilakukan dan melakukan re-engineering/re-design jika diperlukan	Alat berfungsi dan dilakukan pengujian	10%	Eksternal	Alat tidak berfungsi sesuai dengan rancangan dan belum dilakukan pengujian.	Alat berfungsi 60% sesuai dengan rancangan dan sudah dilakukan pengujian dengan hasil yang kurang bagus	Alat berfungsi 70% sesuai dengan rancangan dan sudah dilakukan pengujian dengan hasil yang cukup bagus	Alat berfungsi minimal 80% sesuai dengan rancangan dan sudah dilakukan pengujian dengan hasil yang bagus
CPMK 3 Mahasiswa mampu mendemonstrasikan kemampuan bekerja sama dalam tim	Poster dan presentasi (Ekspo)	15%	Eksternal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isinya kurang informatif dan layout kurang menarik</li> <li>Mahasiswa tidak bisa menjelaskan dan menjawab pertanyaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isinya cukup informatif dan layout cukup menarik</li> <li>Mahasiswa bisa menjelaskan namun kurang mampu menjawab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isinya informatif dan layout cukup menarik</li> <li>Mahasiswa bisa menjelaskan dan mampu menjawab pertanyaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isinya informatif dan layout sangat menarik</li> <li>Mahasiswa bisa menjelaskan dan mampu menjawab pertanyaan</li> </ul>

Mahasiswa perlu tambahan referensi terkait dg implementasi di industri

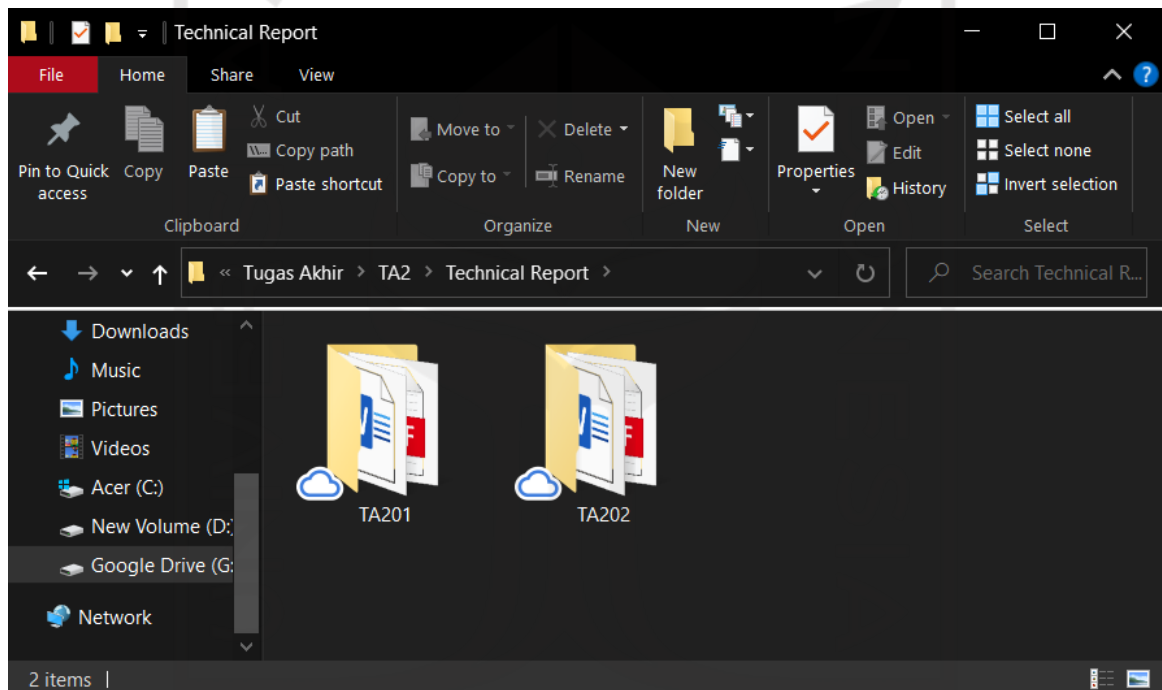
- *Logbook* Kegiatan Selama Proses Tugas Akhir 2

Hari, Tanggal	Deskripsi Kegiatan
Kamis, 3 Maret 2022	Pembelian komponen sensor GMR AAL002-02E di Digi-Key Electronics.
Senin, 7 Maret 2022	Pembelian komponen dan membuat rangkaian catu daya.
Selasa, 8 Maret 2022	Desain PCB di aplikasi EAGLE.
Rabu, 9 Maret 2022	Pembelian tembaga dan membuat <i>excitation coil</i> dengan melilit sendiri menggunakan tembaga.
Jum'at, 11 Maret 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Senin, 14 Maret 2022	Mencoba sensor GMR AAL002-02E.
Selasa, 15 Maret 2022	Mencoba sensor GMR AAL002-02E untuk membaca sensor <i>eddy current</i> yang sudah ada.
Rabu, 16 Maret 2022	Konsultasi dengan Dosen Pembimbing 1 di ruang dekanat FTI UIL.
Kamis, 17 Maret 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Jum'at, 25 Maret 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Senin, 28 Maret 2022	Sosialisasi dari prodi terkait pelaksanaan tugas akhir 2 dilakukan secara daring.
Jum'at, 1 April 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Senin, 4 April 2022	Pembelian dan mencoba modul <i>wave generator</i> .
Selasa, 5 April 2022	Membeli komponen dan membuat rangkaian VCCS.
Senin, 11 April 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Rabu, 13 April 2022	Membeli komponen dan membuat rangkaian VCCS.
Kamis, 14 April 2022	Pembelian modul <i>wave generator</i> .
Senin, 18 April 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Jum'at, 22 April 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Selasa, 26 April 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 secara <i>daring/online</i> .
Selasa, 17 Mei 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Rabu, 18 Mei 2022	Mencoba modul <i>wave generator</i> dengan berbagai frekuensi.
Kamis, 19 Mei 2022	Membeli dan membuat rangkaian VCCS.
Jum'at, 20 Mei 2022	Pengumpulan TRP201
Senin, 23 Mei 2022	<i>Review</i> hasil <i>technical report</i> 201 berdasarkan TA1 oleh Dosen Pendamping 1.
Selasa, 24 Mei 2022	Mencoba rangkaian pembangkit sinyal terdiri dari <i>wave generator</i> dan VCCS. Melihat hasil sinyal pada osiloskop.

Hari, Tanggal	Deskripsi Kegiatan
Rabu, 25 Mei 2022	Mencoba penguat sensor dan mencoba rangkaian secara keseluruhan.
Kamis, 26 Mei 2022	Mencoba penguat sensor dan mencoba rangkaian secara keseluruhan.
Jum'at 27 Mei 2022	Meminta tanda tangan Dosen Pendamping 2 terkait hasil <i>technical report</i> 201 yang telah disetujui oleh Dosen Pendamping 1.
Senin, 30 Mei 2022	Desain PCB di aplikasi EAGLE.
Selesai, 31 Mei 2022	Desain PCB di aplikasi EAGLE.
Kamis, 2 Juni 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Senin, 6 Juni 2022	Pembelian komponen dan solder komponen pada PCB.
Selasa, 7 Juni 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Rabu, 8 Juni 2022	Pembelian komponen dan solder komponen pada PCB.
Jum'at, 10 Juni 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Senin, 13 Juni 2022	Merangkai alat secara keseluruhan.
Selasa, 14 Juni 2022	Minta tanda tangan ke Dosen Pendamping 1 terkait pengajuan bantuan dana tugas akhir. Dan merangkai alat secara keseluruhan.
Rabu, 15 Juni 2022	Pengambilan dan rekap data di laboratorium. Dan pembuatan <i>technical report</i> TA202.
Kamis, 16 Juni 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 penyampaian progres yang telah dilakukan dan pembuatan ppt keseluruhan yang telah dikerjakan.
Jum'at, 17 Juni 2022	Pengambilan dan rekap data di laboratorium.
Selasa, 21 Juni 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali. Sekaligus pengarahan dan pemberian tugas pembuatan laporan tugas akhir.
Rabu, 22 Juni 2022	Pengambilan dan rekap data di laboratorium.
Kamis, 23 Juni 2022	Pengambilan dan rekap data di laboratorium.
Jum'at, 24 Juni 2022	Pengambilan dan rekap data di laboratorium.
Senin, 27 Juni 2022	Diskusi tim pembuatan laporan tugas akhir.
Selasa, 28 Juni 2022	Diskusi tim pembuatan laporan tugas akhir.
Rabu, 29 Juni 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali.
Jum'at, 30 Juni 2022	Diskusi tim pembuatan laporan tugas akhir.
Senin, 4 Juli 2022	Diskusi tim pembuatan laporan tugas akhir
Selasa, 5 Juli 2022	Merangkai keseluruhan alat pada FIG.
Rabu, 6 Juli 2022	Pengambilan data di pipa kantor CV. Krakat Technology.
Kamis, 7 Juli 2022	Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali. Membahas laporan tugas akhir bagian hasil dan pembahasan.
Senin, 11 Juli 2022	Diskusi tim pembuatan laporan tugas akhir.

Hari, Tanggal	Deskripsi Kegiatan
Selasa, 12 Juli 2022	Pengambilan data di pipa kantor CV. Krakret Technology.
Kamis, 14 Juli 2022	Camp menulis dengan Dosen Pendamping 1 dilakukan di Gedung FTI.
Jum'at, 15 Juli 2022	Diskusi tim pembuatan laporan tugas akhir, ppt, dan poster.
Sabtu, 16 Juli 2022	Diskusi tim pembuatan paper tugas akhir dan pengambilan foto dokumentasi pengujian di CV. Krakret Technology.
Minggu, 17 Juli 2022	- Bimbingan dengan Dosen Pendamping 1 di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali. Membahas laporan akhir dan menyepakati laporan akhir untuk diminta tanda tangan. - Diskusi tim pembuatan power point tugas akhir dan revisi laporan tugas akhir.
Senin, 18 Juli 2022	Meminta tanda tangan ke Dosen Pendamping 2 terkait laporan tugas akhir. Dan mengumpulkan keseluruhan dokumen tugas akhir 2 yaitu laporan akhir, ppt, paper, poster, dan video di <i>google drive</i> .

- Dokumen TA201 dan TA202



- Nilai hasil percobaan di laboratorium buat mencari regresi linier

No	Sensor 1					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
1	75.7	80.59	89.13	102.56	135.53	155.07
2	78.15	87.92	91.58	107.45	134.31	158.73
3	75.71	79.37	91.58	106.23	135.53	157.51
4	74.48	89.14	91.57	101.34	126.99	155.07
5	75.7	86.69	89.13	107.45	134.31	153.85
6	75.71	85.47	87.91	102.56	142.85	153.84
7	75.71	79.37	91.58	102.56	137.98	152.63
8	72.04	87.91	91.57	100.12	139.2	157.51
9	74.48	80.58	91.57	106.23	126.99	155.06
10	76.92	80.58	89.13	101.35	126.98	155.07



No	Sensor 1					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
11	74.48	78.14	89.13	106.23	137.97	155.06
12	74.48	86.69	87.91	106.23	141.64	155.06
13	75.7	89.13	85.47	100.12	137.97	150.18
14	74.48	79.37	89.13	100.12	137.98	150.18
15	74.48	85.47	91.58	100.12	139.19	150.18
16	75.7	89.14	87.91	108.67	134.31	153.85
17	73.26	86.7	90.36	105	135.53	152.62
18	78.15	78.14	91.68	101.34	140.41	150.19
19	80.59	85.47	87.92	101.34	136.76	156.35
20	74.48	80.59	91.58	107.45	133.09	151.4
21	75.7	80.59	92.8	102.56	137.97	155.07
22	76.93	80.58	86.69	102.56	135.53	158.73
23	78.14	85.47	92.8	106.23	133.09	153.84
Rata-Rata	75.7030	83.6130	89.9874	103.7313	135.7439	154.2196

No	Sensor 2					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
1	109.89	106.23	116	129.43	140.42	168.5
2	106.23	117.22	120.87	128.21	140.41	162.05
3	107.45	115.99	116	136.75	141.63	164.07
4	109.89	117.21	119.66	128.2	140.42	161.7
5	102.57	114.77	125.77	129.43	141.63	164.84
6	108.67	108.66	128.2	129.43	137.8	164.84
7	103.79	107.45	119.66	131.87	140.42	167.28
8	108.67	117.21	119.66	128.2	139.19	167.27
9	106.23	107.34	128.2	137.97	142.86	166.06
10	95.24	108.67	118.44	131.87	139.19	169.72
11	103.78	118.43	119.66	131.86	140.41	164.84
12	109.89	108.43	114.78	130.65	137.98	161.17
13	106.23	117.22	124.55	128.21	137.97	162.4
14	97.68	116	116	136.76	140.42	162.39
15	101.35	107.43	118.34	130.65	141.57	169.72
16	95.23	107.45	118.44	131.86	141.63	166.06
17	96.46	107.45	117.22	131.87	137.97	167.28
18	109.89	113.55	118.43	128.21	140.42	161.17
19	108.67	108.67	119.66	129.09	137.98	169.72
20	96.46	106.23	115.99	125.77	137.99	162.38
21	106.22	114.77	119.66	131.87	137.97	166.06
22	101.34	107.45	113.55	130.65	137.8	161.17
23	103.78	114.77	117.22	131.87	140.41	164.94
Rata-Rata	104.1570	111.6783	119.3896	130.8991	139.7604	165.0274

No	Sensor 3					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
1	61.05	91.57	107.45	145.3	150.19	178.27
2	70.81	93	107.45	136.76	147.74	180.71
3	65.94	96.46	105.01	137.97	158.73	169.72
4	65.93	95.24	105	142.86	145.3	178.26
5	58.61	92.79	117.21	140.42	145.3	168.49
6	59.83	94.02	102.57	124.54	148.96	181.93
7	71.04	101.35	116	128.2	147.74	169.72
8	58.61	97.68	106.23	136.76	147.74	178.27
9	58.61	94.02	102.56	128.2	166.05	178.27
10	63.49	95.69	108.67	136.75	144.08	169.72
11	69.59	95.54	113.56	136.75	146.52	178.27
12	69.6	95.24	106.22	135.53	158.73	164.84
13	69.6	86.7	106.23	135.53	150.18	168.49
14	58.61	95.24	108.67	136.75	159.95	170.94
15	64.71	94.02	115.99	137.97	158.73	179.49
16	69.6	86.69	115.99	142.86	150.19	172.16
17	73.26	98.9	117.22	135.54	144.08	168.5
18	64.71	95.24	108.66	125.76	146.52	183.15
19	61.05	101.34	101.34	140.42	148.96	179.49
20	63.49	96.45	119.65	125.76	147.74	169.72
21	58.61	91.57	108.67	145.53	145.3	172.16
22	59.8	91.7	103.79	137.97	166.06	183.15
23	70.82	93.51	106.23	126.99	144.08	181.93
Rata-Rata	64.6683	94.5200	109.1465	135.7009	150.8204	175.0283

No	Sensor 4					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
1	63.5	97.68	100.12	136.75	147.74	168.5
2	61.05	93.71	101.34	126.99	153.84	166.05
3	65.83	98.9	98.9	123.32	147.74	180.7
4	63.5	97.68	101.46	129.43	158.74	166.06
5	58.61	84.25	96.46	128.2	157.51	177.05
6	64.71	94.02	116	134.31	145.29	183.15
7	70.82	100.13	103.79	129.42	145.3	167.28
8	72.04	101.35	107.45	127.76	149.39	168.5
9	63.49	100.12	120.88	134.31	145.3	168.5
10	53.73	95.24	120.88	136.76	144.08	167.28
11	64.71	86.69	118.44	128.2	157.51	179.48
12	60.75	86.7	118.43	136.75	145.29	175.82
13	59.82	101.34	123.32	128.84	146.52	167.88
14	59.83	86.69	123.32	150.19	159.95	175.82
15	56.17	97.68	103.11	129.43	156.29	169.72
16	58.61	85.47	96.46	128.81	145.3	180.7
17	54.95	97.23	122.1	125.76	157.51	169.72

No	Sensor 4					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
18	53.72	101.35	112.34	126.98	163.61	167.28
19	58.61	98.9	106.23	128.21	147.75	178.27
20	75.71	100.12	105.01	128.21	146.52	166.06
21	74.48	85.47	117.21	125.76	150.18	178.27
22	64.71	97.59	105.01	136.76	159.95	166.06
23	72.04	85.61	102.56	136.76	153.85	166.06
Rata-Rata	63.1039	94.5183	109.6009	131.2135	151.5287	171.9222

- Nilai hasil percobaan di laboratorium buat validasi atau mencari *error*

No	Sensor 1					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
1	69.82	83.03	103.77	108.67	131.87	147.74
2	68.04	83.02	94.01	111.11	131.87	150.19
3	68.04	83.03	95.24	111.11	130.65	144.07
4	69.59	81.81	94.01	111.11	131.87	146.52
5	68.38	81.81	94.02	111.11	130.65	147.74
6	67.26	81.81	97.41	109.89	130.65	145.3
7	69.04	83.02	97.68	112.33	130.64	145.3
8	68.38	81.8	94.04	109.89	131.87	145.3
9	69.59	84.25	98.91	109.89	130.64	146.52
10	68.38	83.03	94.01	111.11	130.65	146.52

No	Sensor 2					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
1	100.12	111.11	122.1	131.86	144.07	159.95
2	100.12	109.89	120.88	133.09	144.08	156.29
3	100.13	112.33	120.88	134.31	144.08	155.07
4	100.34	109.89	120.88	133.09	142.85	161.17
5	101.34	113.04	122.1	134.31	145.3	158.73
6	101.34	111.11	122.1	135.55	142.75	159.96
7	100.12	112.33	122.11	134.31	142.86	155.07
8	98.9	109.89	120.88	133.09	142.86	161.17
9	100.12	111.11	122.1	134.31	145.3	152.62
10	100.13	113.55	120.88	134.31	142.85	158.33

No	Sensor 3					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
1	69.6	90.36	113.55	130.65	155.07	177.04
2	68.37	89.13	113.55	133.09	155.07	173.39
3	68.37	90.35	111.11	131.86	151.41	174.6
4	68.38	90.35	111.11	134.31	151.4	173.38
5	68.37	90.35	112.33	131.87	156.29	175.83

No	Sensor 3					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
6	68.38	87.91	113.26	133.09	152.63	173.38
7	68.37	87.91	111.11	135.53	155.07	174.6
8	68.37	89.13	113.35	133.09	152.62	172.16
9	68.38	90.36	111.11	130.65	155.41	177.04
10	67.16	87.91	112.33	133.09	156.49	177.04

No	Sensor 4					
	$\Delta y$ Lubang 1 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 2 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 3 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 4 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 5 mm (mV)	$\Delta y$ Lubang 6 mm (mV)
1	68.38	88.13	111.11	131.87	152.63	173.38
2	68.04	91.58	113.56	131.86	153.84	172.17
3	67.15	90.36	108.67	131.87	151.4	169.72
4	68.38	87.91	109.9	131.86	153.84	173.39
5	67.16	89.91	108.67	131.87	153.84	174.61
6	65.93	90.66	114.77	131.87	151.4	174.61
7	69.6	90.36	113.55	130.65	151.4	170.94
8	66.84	88.43	112.33	133.09	152.62	172.16
9	67.15	90.35	108.67	130.64	150.19	172.16
10	69.59	90.35	113.55	131.97	151.4	175.82

- Nilai hasil pengukuran ketebalan pipa di laboratorium

Sensor 1		
Lubang 1 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	1.1771	8.0929
2	1.0664	8.2036
3	1.0664	8.2036
4	1.1628	8.1072
5	1.0876	8.1824
6	1.0179	8.2521
7	1.1286	8.1414
8	1.0876	8.1824
9	1.1628	8.1072
10	1.0876	8.1824
Rata-rata		8.1655
Lubang 2 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	1.9988	7.2712
2	1.9981	7.2719
3	1.9988	7.2712
4	1.9229	7.3471
5	1.9229	7.3471
6	1.9229	7.3471
7	1.9981	7.2719
8	1.9223	7.3477

Lubang 2 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
9	2.0746	7.1954
10	1.9988	7.2712
Rata-rata		7.2942
Lubang 3 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	3.2887	5.9813
2	2.6817	6.5883
3	2.7582	6.5118
4	2.6817	6.5883
5	2.6823	6.5877
6	2.8931	6.3769
7	2.9099	6.3601
8	2.6835	6.5865
9	2.9864	6.2836
10	2.6817	6.5883
Rata-rata		6.4453
Lubang 4 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	3.5935	5.6765
2	3.7452	5.5248
3	3.7452	5.5248
4	3.7452	5.5248
5	3.7452	5.5248
6	3.6694	5.6006
7	3.8211	5.4489
8	3.6694	5.6006
9	3.6694	5.6006
10	3.7452	5.5248
Rata-rata		5.5551
Lubang 5 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	5.0364	4.2336
2	5.0364	4.2336
3	4.9606	4.3094
4	5.0364	4.2336
5	4.9606	4.3094
6	4.9606	4.3094
7	4.9599	4.3101
8	5.0364	4.2336
9	4.9599	4.3101
10	4.9606	4.3094
Rata-rata		4.2792

Sensor 1		
Lubang 6 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	6.0235	3.2465
2	6.1759	3.0941
3	5.7952	3.4748
4	5.9476	3.3224
5	6.0235	3.2465
6	5.8718	3.3982
7	5.8718	3.3982
8	5.8718	3.3982
9	5.9476	3.3224
10	5.9476	3.3224
Rata-rata		3.3224

Sensor 2		
Lubang 1 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	1.0187	8.2513
2	1.0187	8.2513
3	1.0196	8.2504
4	1.0380	8.2320
5	1.1254	8.1446
6	1.1254	8.1446
7	1.0187	8.2513
8	0.9120	8.3580
9	1.0187	8.2513
10	1.0196	8.2504
Rata-rata		8.2385
Lubang 2 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	1.9801	7.2899
2	1.8733	7.3967
3	2.0868	7.1832
4	1.8733	7.3967
5	2.1489	7.1211
6	1.9801	7.2899
7	2.0868	7.1832
8	1.8733	7.3967
9	1.9801	7.2899
10	2.1935	7.0765
Rata-rata		7.2624

<b>Sensor 2</b>		
<b>Lubang 3 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	2.9414	6.3286
2	2.8347	6.4353
3	2.8347	6.4353
4	2.8347	6.4353
5	2.9414	6.3286
6	2.9414	6.3286
7	2.9423	6.3277
8	2.8347	6.4353
9	2.9414	6.3286
10	2.8347	6.4353
Rata-rata		6.3819
<b>Lubang 4 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	3.7951	5.4749
2	3.9027	5.3673
3	4.0094	5.2606
4	3.9027	5.3673
5	4.0094	5.2606
6	4.1179	5.1521
7	4.0094	5.2606
8	3.9027	5.3673
9	4.0094	5.2606
10	4.0094	5.2606
Rata-rata		5.3032
<b>Lubang 5 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	4.8632	4.4068
2	4.8641	4.4059
3	4.8641	4.4059
4	4.7565	4.5135
5	4.9708	4.2992
6	4.7477	4.5223
7	4.7573	4.5127
8	4.7573	4.5127
9	4.9708	4.2992
10	4.7565	4.5135
Rata-rata		4.4392
<b>Lubang 6 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	6.2523	3.0177
2	5.9321	3.3379
3	5.8254	3.4446
4	6.3590	2.9110
5	6.1456	3.1244

Sensor 2		
Lubang 6 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
6	6.2531	3.0169
7	5.8254	3.4446
8	6.3590	2.9110
9	5.6111	3.6589
10	6.1106	3.1594
Rata-rata		3.2026

Sensor 3		
Lubang 1 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	1.0622	8.2078
2	1.0046	8.2654
3	1.0046	8.2654
4	1.0051	8.2649
5	1.0046	8.2654
6	1.0051	8.2649
7	1.0046	8.2654
8	1.0046	8.2654
9	1.0051	8.2649
10	0.9479	8.3221
Rata-rata		8.2652
Lubang 2 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	2.0346	7.2354
2	1.9770	7.2930
3	2.0341	7.2359
4	2.0341	7.2359
5	2.0341	7.2359
6	1.9198	7.3502
7	1.9198	7.3502
8	1.9770	7.2930
9	2.0346	7.2354
10	1.9198	7.3502
Rata-rata		7.2815
Lubang 3 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	3.1207	6.1493
2	3.1207	6.1493
3	3.0065	6.2635
4	3.0065	6.2635
5	3.0636	6.2064
6	3.1072	6.1628
7	3.0065	6.2635



<b>Sensor 3</b>		
<b>Lubang 3 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
8	3.1114	6.1586
9	3.0065	6.2635
10	3.0636	6.2064
Rata-rata		6.2087
<b>Lubang 4 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	3.9217	5.3483
2	4.0360	5.2340
3	3.9784	5.2916
4	4.0931	5.1769
5	3.9788	5.2912
6	4.0360	5.2340
7	4.1503	5.1197
8	4.0360	5.2340
9	3.9217	5.3483
10	4.0360	5.2340
Rata-rata		5.2512
<b>Lubang 5 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	5.0655	4.2045
2	5.0655	4.2045
3	4.8941	4.3759
4	4.8936	4.3764
5	5.1226	4.1474
6	4.9512	4.3188
7	5.0655	4.2045
8	4.9507	4.3193
9	5.0814	4.1886
10	5.1320	4.1380
Rata-rata		4.2478
<b>Lubang 6 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	6.0945	3.1755
2	5.9236	3.3464
3	5.9802	3.2898
4	5.9231	3.3469
5	6.0378	3.2322
6	5.9231	3.3469
7	5.9802	3.2898
8	5.8659	3.4041
9	6.0945	3.1755
10	6.0945	3.1755
Rata-rata		3.2782

<b>Sensor 4</b>		
<b>Lubang 1 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	1.0327	8.2373
2	1.0166	8.2534
3	0.9743	8.2957
4	1.0327	8.2373
5	0.9748	8.2952
6	0.9163	8.3537
7	1.0907	8.1793
8	0.9596	8.3104
9	0.9743	8.2957
10	1.0902	8.1798
Rata-rata		8.2638
<b>Lubang 2 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	1.9710	7.2990
2	2.1349	7.1351
3	2.0769	7.1931
4	1.9605	7.3095
5	2.0555	7.2145
6	2.0912	7.1788
7	2.0769	7.1931
8	1.9852	7.2848
9	2.0764	7.1936
10	2.0764	7.1936
Rata-rata		7.2195
<b>Lubang 3 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	3.0627	6.2073
2	3.1790	6.0910
3	2.9467	6.3233
4	3.0052	6.2648
5	2.9467	6.3233
6	3.2365	6.0335
7	3.1786	6.0914
8	3.1206	6.1494
9	2.9467	6.3233
10	3.1786	6.0914
Rata-rata		6.1899
<b>Lubang 4 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	4.0489	5.2211
2	4.0484	5.2216
3	4.0489	5.2211
4	4.0484	5.2216
5	4.0489	5.2211

<b>Sensor 4</b>		
<b>Lubang 4 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
6	4.0489	5.2211
7	3.9909	5.2791
8	4.1068	5.1632
9	3.9905	5.2795
10	4.0536	5.2164
Rata-rata		5.2266
<b>Lubang 5 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	5.0351	4.2349
2	5.0926	4.1774
3	4.9767	4.2933
4	5.0926	4.1774
5	5.0926	4.1774
6	4.9767	4.2933
7	4.9767	4.2933
8	5.0346	4.2354
9	4.9192	4.3508
10	4.9767	4.2933
Rata-rata		4.2527
<b>Lubang 6 mm</b>		
<b>No</b>	<b>Kedalaman Lubang (mm)</b>	<b>Ukuran Ketebalan Pipa (mm)</b>
1	6.0209	3.2491
2	5.9634	3.3066
3	5.8470	3.4230
4	6.0213	3.2487
5	6.0793	3.1907
6	6.0793	3.1907
7	5.9049	3.3651
8	5.9629	3.3071
9	5.9629	3.3071
10	6.1368	3.1332
Rata-rata		3.2721

- Nilai hasil perhitungan *error* sensor di laboratorium

<b>Sensor 1</b>			
<b>Lubang 1 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	1	1.1771	17.7136
2	1	1.0664	6.6426
3	1	1.0664	6.6426
4	1	1.1628	16.2831
5	1	1.0876	8.7573
6	1	1.0179	1.7913
7	1	1.1286	12.8623
8	1	1.0876	8.7573
9	1	1.1628	16.2831
10	1	1.0876	8.7573
Rata – Rata			10.4491
<b>Lubang 2 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	2	1.9988	0.0622
2	2	1.9981	0.0933
3	2	1.9988	0.0622
4	2	1.9229	3.8562
5	2	1.9229	3.8562
6	2	1.9229	3.8562
7	2	1.9981	0.0933
8	2	1.9223	3.8873
9	2	2.0746	3.7318
10	2	1.9988	0.0622
Rata – Rata			1.9561
<b>Lubang 3 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	3	3.2887	9.6239
2	3	2.6817	10.6108
3	3	2.7582	8.0607
4	3	2.6817	10.6108
5	3	2.6823	10.5900
6	3	2.8931	3.5618
7	3	2.9099	3.0020
8	3	2.6835	10.5486
9	3	2.9864	0.4520
10	3	2.6817	10.6108
Rata – Rata			7.7671
<b>Lubang 4 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	4	3.5935	10.1630
2	4	3.7452	6.3690
3	4	3.7452	6.3690
4	4	3.7452	6.3690
5	4	3.7452	6.3690
6	4	3.6694	8.2660
7	4	3.8211	4.4719
8	4	3.6694	8.2660
9	4	3.6694	8.2660
10	4	3.7452	6.3690
Rata – Rata			7.1278

<b>Sensor 1</b>			
<b>Lubang 5 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	5	5.0364	0.7289
2	5	5.0364	0.7289
3	5	4.9606	0.7887
4	5	5.0364	0.7289
5	5	4.9606	0.7887
6	5	4.9606	0.7887
7	5	4.9599	0.8011
8	5	5.0364	0.7289
9	5	4.9599	0.8011
10	5	4.9606	0.7887
Rata – Rata			0.7673
<b>Lubang 6 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	6	6.0235	0.3918
2	6	6.1759	2.9315
3	6	5.7952	3.4125
4	6	5.9476	0.8728
5	6	6.0235	0.3918
6	6	5.8718	2.1375
7	6	5.8718	2.1375
8	6	5.8718	2.1375
9	6	5.9476	0.8728
10	6	5.9476	0.8728
Rata – Rata			1.6159

<b>Sensor 2</b>			
<b>Lubang 1 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	1	1.0187	1.8719
2	1	1.0187	1.8719
3	1	1.0196	1.9594
4	1	1.0380	3.7964
5	1	1.1254	12.5437
6	1	1.1254	12.5437
7	1	1.0187	1.8719
8	1	0.9120	8.7999
9	1	1.0187	1.8719
10	1	1.0196	1.9594
Rata – Rata			4.9090
<b>Lubang 2 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	2	1.9801	0.9972
2	2	1.8733	6.3331
3	2	2.0868	4.3387
4	2	1.8733	6.3331
5	2	2.1489	7.4440
6	2	1.9801	0.9972
7	2	2.0868	4.3387
8	2	1.8733	6.3331
9	2	1.9801	0.9972
10	2	2.1935	9.6746
Rata – Rata			4.7787

<b>Sensor 2</b>			
<b>Lubang 3 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	3	2.9414	1.9536
2	3	2.8347	5.5108
3	3	2.8347	5.5108
4	3	2.8347	5.5108
5	3	2.9414	1.9536
6	3	2.9414	1.9536
7	3	2.9423	1.9244
8	3	2.8347	5.5108
9	3	2.9414	1.9536
10	3	2.8347	5.5108
Rata – Rata			3.7293
<b>Lubang 4 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	4	3.7951	5.1216
2	4	3.9027	2.4318
3	4	4.0094	0.2362
4	4	3.9027	2.4318
5	4	4.0094	0.2362
6	4	4.1179	2.9479
7	4	4.0094	0.2362
8	4	3.9027	2.4318
9	4	4.0094	0.2362
10	4	4.0094	0.2362
Rata – Rata			1.6546
<b>Lubang 5 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	5	4.8632	2.7362
2	5	4.8641	2.7187
3	5	4.8641	2.7187
4	5	4.7565	4.8705
5	5	4.9708	0.5843
6	5	4.7477	5.0455
7	5	4.7573	4.8530
8	5	4.7573	4.8530
9	5	4.9708	0.5843
10	5	4.7565	4.8705
Rata – Rata			3.3835
<b>Lubang 6 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	6	6.2523	4.2046
2	6	5.9321	1.1313
3	6	5.8254	2.9100
4	6	6.3590	5.9832
5	6	6.1456	2.4259
6	6	6.2531	4.2192
7	6	5.8254	2.9100
8	6	6.3590	5.9832
9	6	5.6111	6.4818
10	6	6.1106	1.8428
Rata – Rata			3.8092



<b>Sensor 3</b>			
<b>Lubang 1 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	1	1.0622	6.2201
2	1	1.0046	0.4590
3	1	1.0046	0.4590
4	1	1.0051	0.5059
5	1	1.0046	0.4590
6	1	1.0051	0.5059
7	1	1.0046	0.4590
8	1	1.0046	0.4590
9	1	1.0051	0.5059
10	1	0.9479	5.2084
Rata – Rata			1.5241
<b>Lubang 2 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	2	2.0346	1.7283
2	2	1.9770	1.1522
3	2	2.0341	1.7049
4	2	2.0341	1.7049
5	2	2.0341	1.7049
6	2	1.9198	4.0094
7	2	1.9198	4.0094
8	2	1.9770	1.1522
9	2	2.0346	1.7283
10	2	1.9198	4.0094
Rata – Rata			2.2904
<b>Lubang 3 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	3	3.1207	4.0250
2	3	3.1207	4.0250
3	3	3.0065	0.2155
4	3	3.0065	0.2155
5	3	3.0636	2.1202
6	3	3.1072	3.5722
7	3	3.0065	0.2155
8	3	3.1114	3.7127
9	3	3.0065	0.2155
10	3	3.0636	2.1202
Rata – Rata			2.0437
<b>Lubang 4 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	4	3.9217	1.9578
2	4	4.0360	0.8993
3	4	3.9784	0.5410
4	4	4.0931	2.3279
5	4	3.9788	0.5293
6	4	4.0360	0.8993
7	4	4.1503	3.7564
8	4	4.0360	0.8993
9	4	3.9217	1.9578
10	4	4.0360	0.8993
Rata – Rata			1.4667



<b>Sensor 3</b>			
<b>Lubang 5 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	5	5.0655	1.3096
2	5	5.0655	1.3096
3	5	4.8941	2.1190
4	5	4.8936	2.1283
5	5	5.1226	2.4525
6	5	4.9512	0.9761
7	5	5.0655	1.3096
8	5	4.9507	0.9855
9	5	5.0814	1.6281
10	5	5.1320	2.6398
Rata – Rata			1.6858
<b>Lubang 6 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	6	6.0945	1.5753
2	6	5.9236	1.2740
3	6	5.9802	0.3294
4	6	5.9231	1.2818
5	6	6.0378	0.6308
6	6	5.9231	1.2818
7	6	5.9802	0.3294
8	6	5.8659	2.2342
9	6	6.0945	1.5753
10	6	6.0945	1.5753
Rata – Rata			1.2087

<b>Sensor 4</b>			
<b>Lubang 1 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	1	1.0327	3.2732
2	1	1.0166	1.6580
3	1	0.9743	2.5701
4	1	1.0327	3.2732
5	1	0.9748	2.5226
6	1	0.9163	8.3658
7	1	1.0907	9.0689
8	1	0.9596	4.0428
9	1	0.9743	2.5701
10	1	1.0902	9.0214
Rata – Rata			4.6366
<b>Lubang 2 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	2	1.9710	1.4513
2	2	2.1349	6.7435
3	2	2.0769	3.8456
4	2	1.9605	1.9739
5	2	2.0555	2.7767
6	2	2.0912	4.5582
7	2	2.0769	3.8456
8	2	1.9852	0.7387
9	2	2.0764	3.8219
10	2	2.0764	3.8219
Rata – Rata			3.3577



<b>Sensor 4</b>			
<b>Lubang 3 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	3	3.0627	2.0887
2	3	3.1790	5.9683
3	3	2.9467	1.7751
4	3	3.0052	0.1726
5	3	2.9467	1.7751
6	3	3.2365	7.8844
7	3	3.1786	5.9525
8	3	3.1206	4.0206
9	3	2.9467	1.7751
10	3	3.1786	5.9525
Rata – Rata			3.7365
<b>Lubang 4 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	4	4.0489	1.2221
2	4	4.0484	1.2102
3	4	4.0489	1.2221
4	4	4.0484	1.2102
5	4	4.0489	1.2221
6	4	4.0489	1.2221
7	4	3.9909	0.2268
8	4	4.1068	2.6710
9	4	3.9905	0.2387
10	4	4.0536	1.3409
Rata – Rata			1.1786
<b>Lubang 5 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	5	5.0351	0.7021
2	5	5.0926	1.8518
3	5	4.9767	0.4665
4	5	5.0926	1.8518
5	5	5.0926	1.8518
6	5	4.9767	0.4665
7	5	4.9767	0.4665
8	5	5.0346	0.6926
9	5	4.9192	1.6162
10	5	4.9767	0.4665
Rata – Rata			1.0432
<b>Lubang 6 mm</b>			
<b>No</b>	<b>Prediksi (mm)</b>	<b>Validasi (mm)</b>	<b>Error (%)</b>
1	6	6.0209	0.3476
2	6	5.9634	0.6105
3	6	5.8470	2.5503
4	6	6.0213	0.3555
5	6	6.0793	1.3215
6	6	6.0793	1.3215
7	6	5.9049	1.5843
8	6	5.9629	0.6184
9	6	5.9629	0.6184
10	6	6.1368	2.2795
Rata – Rata			1.1607



- Nilai hasil percobaan pada pipa di CV. Krakret Technology buat mencari regresi linier

No	SIECu-Pi		
	$\Delta y$ Lubang 1 mm	$\Delta y$ Lubang 3 mm	$\Delta y$ Lubang 5 mm
1	157.51	221	242.31
2	166.06	218.56	272.28
3	168.5	218.56	260.08
4	164.94	214.9	242.98
5	167.28	216.12	262.97
6	161.17	210.01	274.73
7	166.06	210.02	242.98
Rata-rata	164.5029	215.5957	256.9043

- Nilai hasil percobaan pada pipa di CV. Krakret Technology buat validasi atau mencari *error*

No	SIECu-Pi		
	$\Delta y$ Lubang 1 mm	$\Delta y$ Lubang 3 mm	$\Delta y$ Lubang 5 mm
1	167.27	213.68	258.85
2	166.06	212.45	255.19
3	167.28	211.24	250.36

- Nilai hasil pengukuran ketebalan pipa di CV. Krakret Technology

SIECu-Pi		
Lubang 1 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	1.0494	8.2206
2	0.9970	8.2730
3	1.0498	8.2202
Rata-rata		8.2380
Lubang 3 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	3.0584	6.2116
2	3.0052	6.2648
3	2.9528	6.3172
Rata-rata		6.2645
Lubang 5 mm		
No	Kedalaman Lubang (mm)	Ukuran Ketebalan Pipa (mm)
1	5.0139	4.2561
2	4.8554	4.4146
3	4.6463	4.6237
Rata-rata		4.4315

- Nilai hasil perhitungan *error* sensor pada pipa di CV. Krakret Technology

SIECu-Pi			
Lubang 1 mm			
No	Prediksi (mm)	Validasi (mm)	Error (%)
1	1	1.0494	4.9351
2	1	0.9970	0.3030
3	1	1.0498	4.9784
Rata – Rata			3.4055

SIECu-Pi			
Lubang 3 mm			
No	Prediksi (mm)	Validasi (mm)	Error (%)
1	3	3.0584	1.9481
2	3	3.0052	0.1732
3	3	2.9528	1.5729
Rata – Rata			1.2314
Lubang 5 mm			
No	Prediksi (mm)	Validasi (mm)	Error (%)
1	5	5.0139	0.2771
2	5	4.8554	2.8918
3	5	4.6463	7.0736
Rata – Rata			3.4141

- Kode program sistem SIECu-Pi

```

#include <SPI.h>
#include <SD.h>
float sensorPin1 = A0;
float sensorPin2 = A1;
float sensorPin3 = A2;
float sensorPin4 = A3;
float sensor1 = 0;
float sensor2 = 0;
float sensor3 = 0;
float sensor4 = 0;
float v1, v2, v3, v4;
File myFile;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(sensorPin1, INPUT);
  pinMode(sensorPin2, INPUT);
  pinMode(sensorPin3, INPUT);
  pinMode(sensorPin4, INPUT);
  SPI.begin(4);

  // Buka KomunikasiSerial
  Serial.println("Membuka Micro SD . . .");
  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("Gagal Membuka Micro SD!");
    while (1);
  }
  Serial.println("Berhasil Membuka Micro SD");
}

```

```

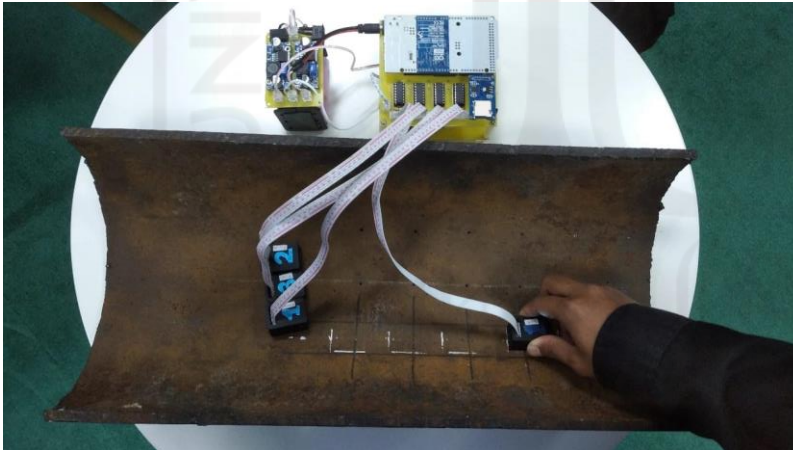
void loop() {
  analogReadResolution(12);
  //Membaca pin analog
  sensor1 = analogRead(sensorPin1);
  sensor2 = analogRead(sensorPin2);
  sensor3 = analogRead(sensorPin3);
  sensor4 = analogRead(sensorPin4);

  //Merubah analog ke tegangan
  v1 = (sensor1*5000.0)/4095;
  v2 = (sensor2*5000.0)/4095;
  v3 = (sensor3*5000.0)/4095;
  v4 = (sensor4*5000.0)/4095;

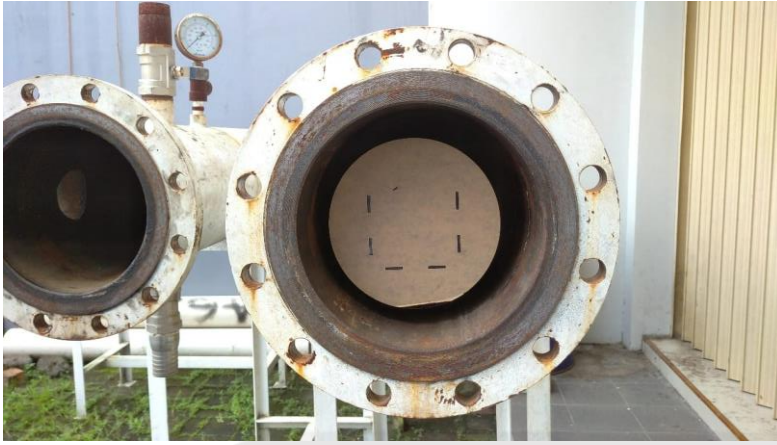
  //Membuka File test.txt
  myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
  // jika file sudah berhasil dibuka maka tulis data dimulai
  if (myFile) {
    myFile.print(v1);
    myFile.print(" ");
    myFile.print(v2);
    myFile.print(" ");
    myFile.print(v3);
    myFile.print(" ");
    myFile.print(v4);
    myFile.println(" ");
    myFile.close();
  }
  delay(20);
}

```

- Dokumentasi proses pengerjaan



Pengujian di laboratorium instrumentasi dan sistem kendali



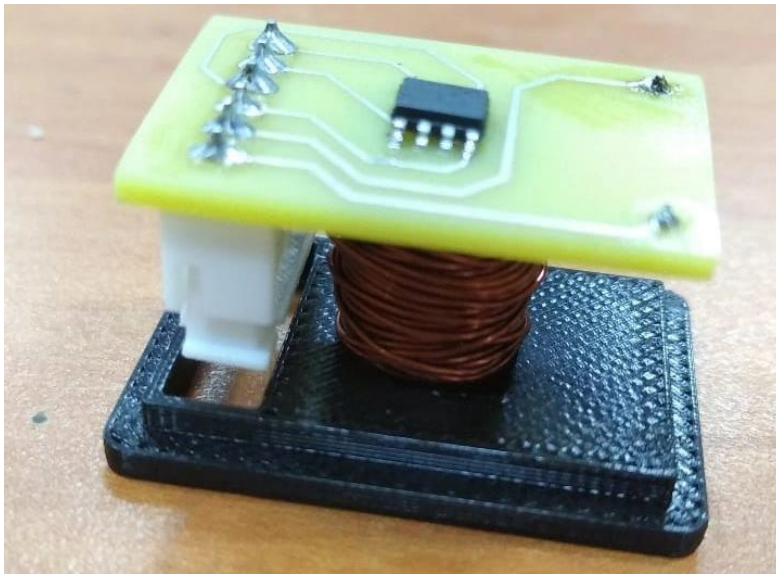
Pengujian di CV. Kraket Technology



Proses 3D print



Proses solder komponen

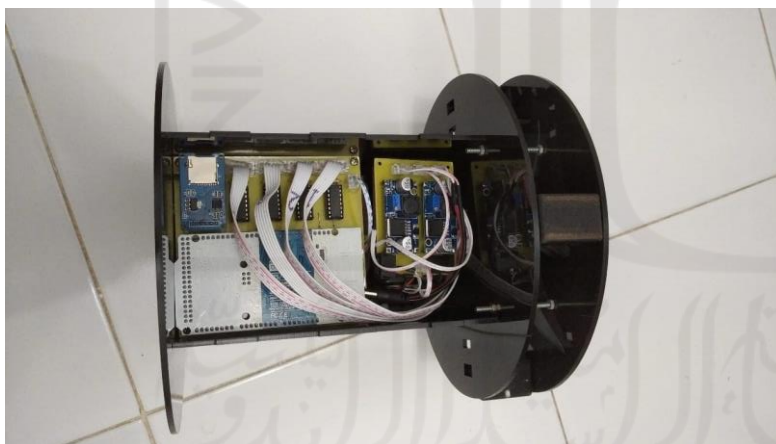


Hasil sensor



Hasil elektronik

komponen

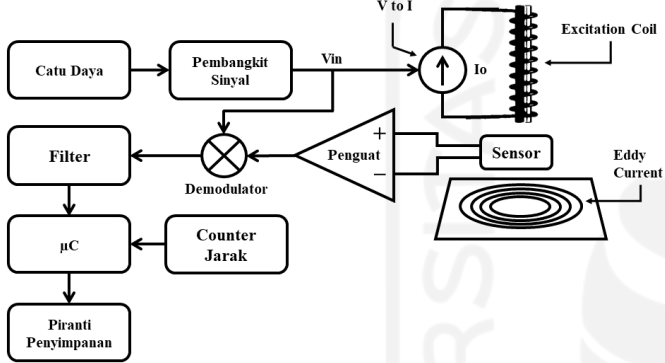
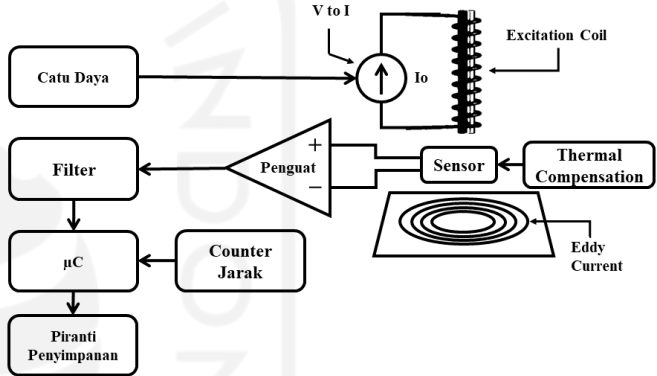


Pemasangan instrumentasi SIECu-Pi pada *prototype* PIG

- Dokumentasi keuangan

No	Jenis Pengeluaran	Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga
<b>Komponen</b>			
1	Sensor GMR AAL002-02E	8 pcs	Rp. 1.384.000,-
2	Penguat INA125	8 pcs	Rp. 704.000,-
3	Arduino DUE	2 pcs	Rp. 860.000,-
4	Encoder 360 P/R	-	-
5	Sandisk Ultra 32 GB	1 pcs	Rp. 75.000,-
6	Dudukan Encoder	-	-
7	Roda	-	-
8	Kabel	10 m	Rp. 15.000,-
9	Filter	-	-
10	Power Converter	-	-
11	Modul Step down LM2596	2 pcs	Rp. 40.000,-
12	Battery management System (BMS)	1 pcs	Rp. 32.000,-
13	Tempat Baterai	2 pcs	Rp. 28.000,-
14	Function Generator	1 pcs	Rp. 260.000,-
15	Analog Level Converter	-	-
16	Baterai	6 pcs	Rp. 84.000,-
17	Tembaga	10 m	Rp. 20.000,-
18	Komponen VCCS	1 pcs	Rp. 30.000,-
19	Modul SD Card	1 pcs	Rp. 8.000,-
20	Tembaga EMAIL 0.4 mm	2 ons	Rp. 70.000,-
<b>Jasa</b>			
1	Cetak PCB Sensor	8 pcs	Rp. 12.000,-
2	Cetak PCB Sistem	1 pcs	Rp. 72.000,-
3	Cetak Akrilik 3D	1 paket	Rp. 150.000,-
4	Bor Pipa Pengujian	1 paket	Rp. 250.000,-
<b>Lain-lain</b>			
1	Ongkos Kirim	1 paket	Rp. 100.000,-
2	Pajak Bea Cukai	1 paket	Rp. 979.000,-
<b>Total</b>			<b>Rp. 5.173.000,-</b>

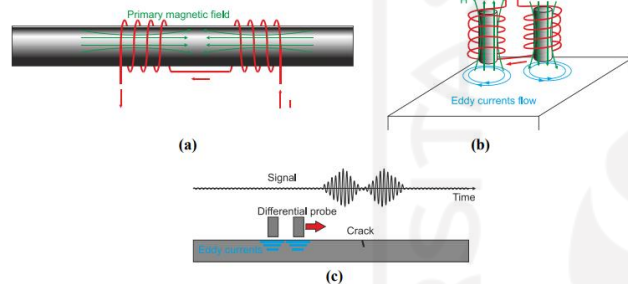
- Dokumentasi TA103

Usulan 1 : Desain Sistem dan <i>Budgeting</i> beserta analisis risikonya	Usulan 2 : Desain Sistem dan <i>Budgeting</i> beserta analisis risikonya
Desain sistem pertama yang digunakan dalam merancang instrumentasi sebagai berikut:	Desain sistem kedua yang digunakan dalam merancang instrumentasi sebagai berikut:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagram Blok Sistem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagram Blok Sistem</li> </ul>
 <p>The diagram for Usulan 1 shows a power supply (Catu Daya) connected to a signal generator (Pembangkit Sinyal). The signal generator outputs a voltage signal <math>V_{in}</math> to an amplifier (Penguat). The amplifier also receives a feedback signal from a sensor. The amplifier's output is connected to an excitation coil (Excitation Coil) which is part of a probe coil. The probe coil is used to generate a magnetic field, which induces eddy currents in a pipe. The sensor detects these eddy currents. The signal from the sensor is processed by a demodulator (Demodulator) and a counter (Counter Jarak). The output of the counter is stored in a memory device (Piranti Penyimpanan). A <math>V</math> to <math>I</math> converter is also shown, converting the input voltage <math>V_{in}</math> into a current <math>I_o</math> that flows through the excitation coil.</p>	 <p>The diagram for Usulan 2 is similar to Usulan 1 but includes an additional block for thermal compensation (Thermal Compensation) connected to the sensor. This block is used to stabilize the sensor's performance when it is affected by temperature changes. The rest of the system, including the power supply, signal generator, amplifier, excitation coil, pipe, eddy current sensor, demodulator, counter, and memory, remains the same as in Usulan 1.</p>
<p>Diagram blok diatas digunakan untuk merancang sistem instrumentasi, dimana terdiri dari beberapa komponen utama yaitu catu daya, <i>probe coil</i>, sensor pembaca <i>eddy current</i>, penguat sinyal, filter, pembangkit sinyal arus, <i>demodulator</i>, penyimpanan, <i>counter</i> jarak dan mikrokontroler. Penjelasan diagram blok sebagai berikut,</p>	<p>Diagram blok diatas digunakan untuk merancang sistem instrumentasi, dimana terdiri dari beberapa komponen utama yaitu catu daya, <i>probe coil</i>, sensor pembaca <i>eddy current</i>, <i>thermal compensation</i>, penguat sinyal, filter, pembangkit sinyal arus, penyimpanan, <i>counter</i> jarak dan mikrokontroler. Penjelasan diagram blok sebagai berikut,</p>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Catu daya masuk ke pembangkit untuk membangkitkan sinyal tegangan berfrekuensi</li> <li>2. Tegangan dikonversi ke sumber arus sebelum masuk ke <i>probe coil</i></li> <li>3. <i>Probe coil</i> menghasilkan medan magnet</li> <li>4. <i>Coil</i> menginduksikan medan magnet ke pipa dan menghasilkan <i>eddy current</i></li> <li>5. Sensor mendeteksi <i>eddy current</i></li> <li>6. Sinyal hasil pembacaan sensor dikuatkan</li> <li>7. Sinyal setelah dikuatkan dibandingkan dengan input sinyal tegangan berfrekuensi</li> <li>8. Sinyal difilter</li> <li>9. Sinyal dikonversi pada mikrokontroler</li> <li>10. <i>Counter</i> jarak mendeteksi jarak tempuh</li> <li>11. Sinyal hasil konversi dan nilai jarak disimpan pada piranti penyimpanan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Catu daya menghasilkan tegangan tertentu</li> <li>2. Tegangan dikonversi ke sumber arus sebelum masuk ke <i>probe coil</i></li> <li>3. <i>Probe coil</i> menghasilkan medan magnet</li> <li>4. <i>Coil</i> menginduksikan medan magnet ke pipa dan menghasilkan <i>eddy current</i></li> <li>5. <i>Thermal compensation</i> digunakan untuk menyetabilkan kinerja sensor ketika dipengaruhi oleh suhu</li> <li>6. Sensor mendeteksi <i>eddy current</i></li> <li>7. Sinyal hasil pembacaan sensor dikuatkan</li> <li>8. Sinyal difilter</li> <li>9. Sinyal dikonversi pada mikrokontroler</li> <li>10. <i>Counter</i> jarak mendeteksi jarak tempuh</li> <li>11. Sinyal hasil konversi dan nilai jarak disimpan pada piranti penyimpanan</li> </ol>



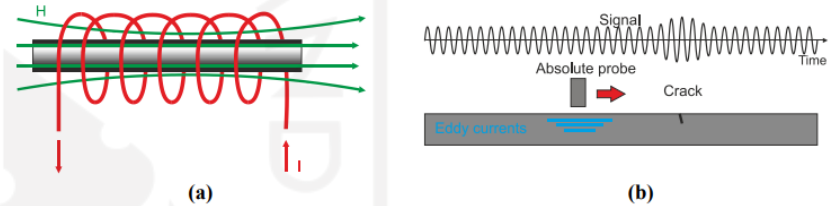
• Desain *Probe Differential*

Dari desain blok diagram di atas, *probe* digunakan untuk menginduksikan medan magnet pada permukaan pipa. Terdapat beberapa jenis desain *coil*, pada usulan ini menggunakan *probe diferensial*. *Probe differential* memiliki bentuk seperti pada gambar (b) dan hasil sinyal pembacaan pada gambar (c), *probe differential* mampu mendeteksi perubahan yang sangat kecil.



• Desain *Probe Absolute*

Dari desain blok diagram di atas, *probe* digunakan untuk menginduksikan medan magnet pada permukaan pipa. Terdapat beberapa jenis desain *coil*, pada usulan ini menggunakan *probe Absolute*. *Probe absolute* memiliki bentuk seperti pada gambar (a) dan hasil pembacaan sinyal pada gambar (b), *probe absolute* memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan suhu.

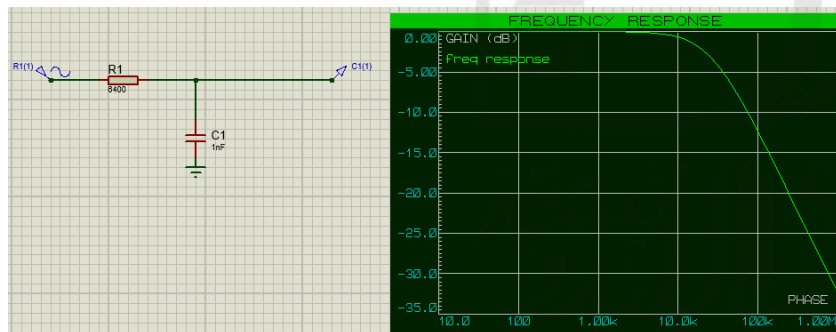


• Filter

Filter yang digunakan adalah LPF pasif dengan frekuensi *cut off* 25kHz. Nilai  $R = 6400 \text{ Ohm}$  dan  $C = 1 \text{ nF}$ . Perhitungan nilai komponen resistor ( $R$ ) dan kapasitor ( $C$ ) yang digunakan untuk rangkaian filter berdasarkan Persamaan 1.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

Dimana  $f_c$  adalah frekuensi *cut off* filter,  $R$  adalah nilai resistor, dan  $C$  adalah nilai kapasitor.



• Filter

Filter yang digunakan adalah LPF aktif dengan frekuensi *cut off* 25kHz. Nilai  $R_1 = 6400 \text{ Ohm}$   $C = 1 \text{ nF}$ . Perhitungan nilai komponen resistor ( $R$ ) dan kapasitor ( $C$ ) yang digunakan untuk rangkaian filter berdasarkan Persamaan 2.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (2)$$

Dimana  $f_c$  adalah frekuensi *cut off* filter,  $R_1$  adalah nilai resistor, dan  $C_1$  adalah nilai kapasitor.

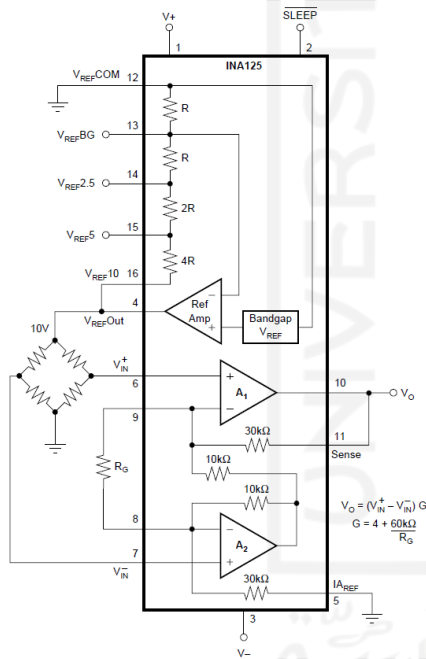


- Penguat

Penguat yang digunakan adalah penguat instrumentasi INA125. Berdasarkan datasheet sensor GMR, sensor dapat berfungsi dengan baik membutuhkan penguat instrumentasi sebesar 20 kali. Untuk mendapatkan nilai penguatan 20 kali dibutuhkan nilai Resistor ( $R_G$ ) sebesar 3700 Ohm yang didapatkan dari Persamaan 3.

$$A = 4 + \frac{60 \text{ k}\Omega}{R_G} \quad (3)$$

Dimana  $A$  merupakan nilai penguat dan  $R_G$  adalah nilai resistor untuk menentukan besarnya penguatan.

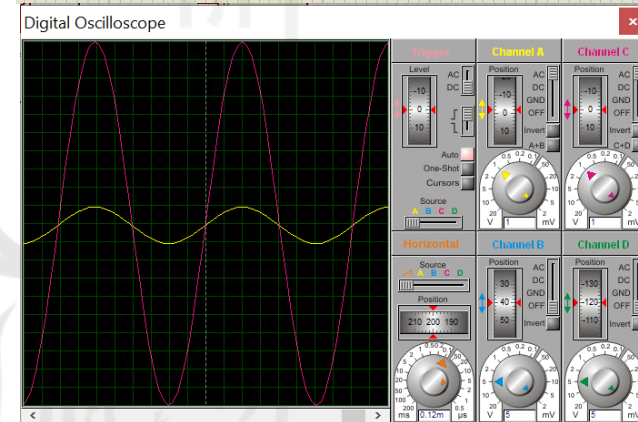
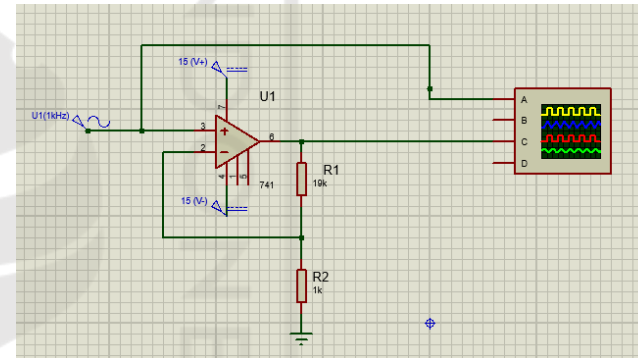


- Penguat

Penguat yang digunakan adalah penguat *non inverting* menggunakan IC LM741. Nilai penguat sebesar 10 kali. Perhitungan nilai resistor untuk rangkaian penguat berdasarkan Persamaan 4.

$$A = \frac{V_0}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_3} \quad (4)$$

Dimana  $A$  merupakan nilai penguat,  $V_0$  adalah nilai tegangan keluaran,  $V_i$  adalah nilai tegangan masukan,  $R_2$  dan  $R_3$  adalah nilai resistor.

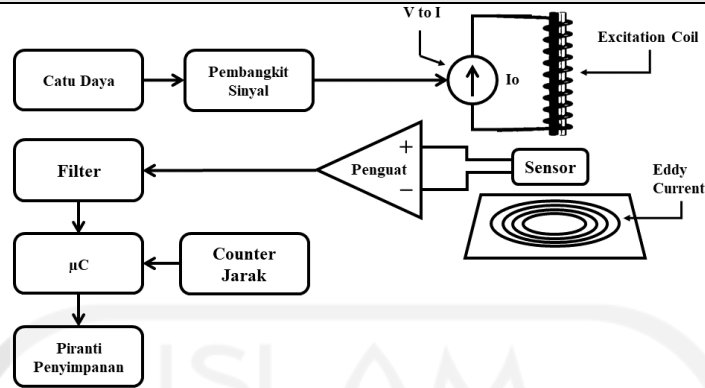


<ul style="list-style-type: none"> <li>• GMR Sensor</li> </ul> <p>Pada usulan solusi 1 menggunakan GMR sensor untuk membaca perubahan <i>eddy current</i> ketika terdapat perubahan ketebalan pipa. GMR memiliki keluaran berupa tegangan. Adapun kelebihan GMR Sensor adalah sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memiliki ukuran kecil</li> <li>2. Tingkat <i>non-linieritas</i> 0.01% ~ 0.05%</li> <li>3. <i>Range</i> frekuensi ~5MHz</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coil Sensor</li> </ul> <p>Pada usulan solusi 2 menggunakan <i>coil</i> sensor untuk membaca perubahan <i>eddy current</i> ketika terdapat perubahan ketebalan pipa. Adapun kelebihan <i>coil</i> sensor adalah sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mudah dibuat</li> <li>2. Harga murah</li> <li>3. Dapat di <i>custom</i> sesuai kebutuhan</li> </ol>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piranti Penyimpanan</li> </ul> <p>Pada usulan solusi 1, data hasil pembacaan disimpan pada mikro SD dengan kecepatan <i>write</i> tinggi (<b>Sandisk Ultra 32 GB R/W 120 Mbps</b>). Pemilihan mikro SD karena ukurannya yang kecil, harga terjangkau, dan mudah digunakan (pada praktiknya <i>data logger</i> kebanyakan menggunakan mikro SD).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piranti Penyimpanan</li> </ul> <p>Pada usulan solusi 2, data hasil pembacaan disimpan pada mikro SD dengan kecepatan <i>write</i> tinggi (<b>Sandisk Ultra 32 GB R/W 120 Mbps</b>). Pemilihan mikro SD karena ukurannya yang kecil, harga terjangkau, dan mudah digunakan (pada praktiknya <i>data logger</i> kebanyakan menggunakan mikro SD).</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Counter Jarak</li> </ul> <p>Pada usulan solusi 1, untuk mengetahui letak perubahan ketebalan pipa menggunakan sensor <i>counter</i> jarak. Sensor yang digunakan adalah <i>Rotary Encoder 360 P/R 5V-24V incremental 2 Phase 6mm Shaft</i>. Adapun spesifikasi sensor <i>encoder</i> sebagai berikut .</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tegangan kerja = 5 – 24 V</li> <li>2. <i>Aperture/shaft</i> diameter (mm): 6mm</li> <li>3. <i>Resolution</i> (CPR): 600</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Counter Jarak</li> </ul> <p>Pada usulan solusi 2, untuk mengetahui letak perubahan ketebalan pipa menggunakan sensor <i>counter</i> jarak. Sensor yang digunakan adalah <i>Rotary Encoder GHS38</i>. Adapun spesifikasi sensor <i>encoder</i> sebagai berikut.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tegangan kerja = 5 – 26 V</li> <li>2. <i>Aperture/shaft</i> diameter (mm): 4mm, 5mm</li> <li>3. <i>Resolution</i> (CPR): 100~1024</li> <li>4. <i>Protection</i>: IP54 (<i>default</i>) or IP65</li> </ol>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikrokontroler</li> </ul> <p>Pada usulan solusi 1, mikrokontroler yang digunakan untuk mengolah hasil data sinyal pembacaan yaitu ATmega2560. Adapun spesifikasi dari mikrokontroler ATmega2560 sebagai berikut.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tegangan Kerja = 7 - 12 V</li> <li>2. Speed Grade = 16 MHz</li> <li>3. ADC Channels = 16 Pin</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikrokontroler</li> </ul> <p>Pada usulan solusi 2, mikrokontroler yang digunakan untuk mengolah hasil data sinyal pembacaan yaitu Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU. Adapun spesifikasi dari mikrokontroler Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU sebagai berikut.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tegangan Kerja = 7 -12 V</li> <li>2. Speed Grade = 84 MHz</li> <li>3. ADC Channels = 12 Pin</li> </ol>

**Usulan terbaik/utama beserta alasannya**

Dari dua usulan di atas, dalam pembuatan alat mengkombinasi dari kedua usulan sehingga mendapatkan usulan terbaik sebagai berikut.

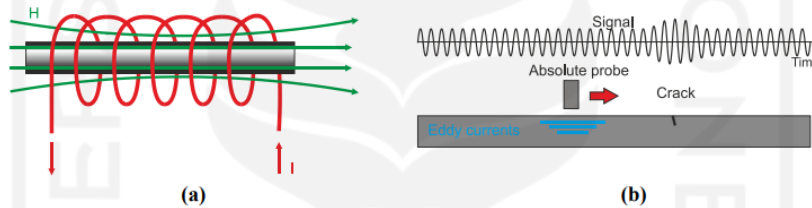
- Diagram Blok Sistem



Memilih diagram blok sistem tersebut karena berdasarkan prinsip kerja *eddy current* untuk membangkitkan medan magnet perlu adanya pembangkit sinyal yang merubah tegangan DC ke arus yang memiliki frekuensi. Rangkaian *demodulator* tidak digunakan karena sudah ada alat yang tidak menggunakan rangkaian *demodulator* dan menghasilkan pembacaan yang baik, serta untuk menekan biaya pembuatan. Rangkaian *thermal compensation* tidak digunakan karena implementasi alat tidak terpengaruh oleh cuaca yang *extream* dan sensor GMR tidak terpengaruh oleh suhu ketika beroperasi.

- Desain Probe

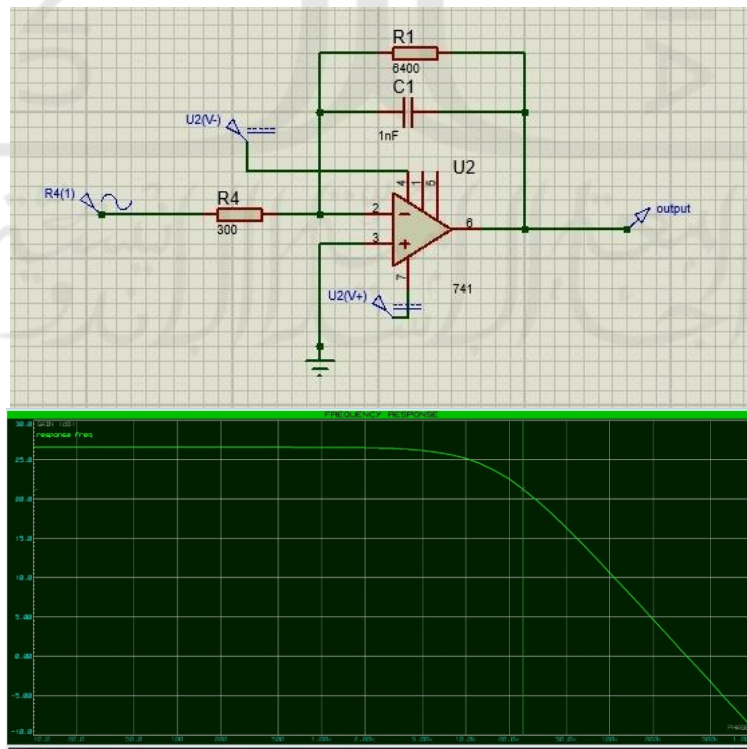
Desain *probe* yang digunakan untuk menginduksikan medan magnet pada permukaan pipa menggunakan *probe Absolute*. *Probe absolute* memiliki bentuk seperti pada gambar (a) dan hasil pembacaan sinyal pada gambar (b).



Memilih desain *probe* tersebut karena bentuk sederhana dan mudah dalam pembuatan.

- Filter

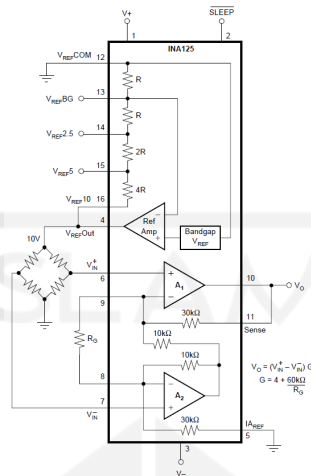
Filter yang digunakan adalah *Low Pass Filter* aktif dengan frekuensi *cut off* 25kHz. Nilai  $R1 = 6400 \text{ Ohm}$   $C = 1 \text{ nF}$ .



Memilih jenis filter LPF aktif karena hasil sinyal pembacaan yang di ambil hanya frekuensi rendah. Filter yang dipilih merupakan filter aktif karena memiliki kelebihan mudah dalam perancangan, ukuran lebih kecil, ringan dan lebih murah.

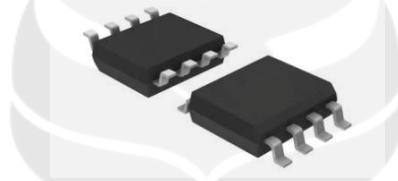
- Penguat

Penguat yang digunakan adalah penguat instrumentasi INA125. Nilai penguat sebesar 20 kali. Memilih penguat ini dikarenakan merupakan penguat instrumentasi berdaya rendah dan akurasi tinggi dengan referensi tegangan presisi. Rangkaian penguat seperti berikut.



- Sensor

Sensor yang dipilih menggunakan sensor GMR tipe AA002-02E, karena penggunaan yang mudah dan memiliki akurasi pembacaan yang bagus.



- Counter Jarak

Counter jarak yang dipilih adalah Rotary Encoder 360 P/R 5V-24V incremental 2 Phase 6mm Shaft. Counter jarak jenis tersebut dipilih karena mempertimbangkan aspek ekonomi.

- Mikrokontroler

Mikrokontroler yang dipilih untuk mengolah hasil data sinyal pembacaan yaitu Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU. Mikrokontroler jenis tersebut dipilih karena memiliki 12 pin analog yang cukup untuk jumlah sensor yang digunakan. Selain itu memiliki frekuensi clock 84 MHz yang lebih besar dibandingkan ATmega2560.

- Piranti Penyimpanan

Piranti penyimpanan yang dipilih yaitu Sandisk Ultra 32 GB dengan R/W 120 Mbps. Hal tersebut mempertimbangkan aspek ekonomi.