

**PEMBUATAN SISTEM SENSOR KAPASITIF UNTUK
OPTIMASI LAPISAN KETEBALAN *COATING***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Andi Yuditama

3334180039

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMBUATAN SISTEM SENSOR KAPASITIF UNTUK
OPTIMASI LAPISAN KETEBALAN *COATING***

SKRIPSI

Disusun untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Dr. Amalia Sholehah, S.Si., M.Si.

NIP. 197905022005012005

Pembimbing II



Imamul Muttakin, S.T., M.Eng., Ph.D

NIP. 198705262014041001

LEMBAR PERSetujuan




PEMBUATAN SISTEM SENSOR KAPASITIF UNTUK
OPTIMASI LAPISAN KETEBALAN COATING

Dusun dan diajukan oleh:

Andi Yuditama

3334180039

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 16 Agustus 2022

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Dr. Amalia Sholehah, S.Si., M.Si.	
Penguji II	: Imamul Muttakin, S.T., M.Eng., Ph.D	
Penguji III	: Dr. Didied Haryono, S.T., M.T.	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.

NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Pembuatan Sistem Sensor Kapasitif Untuk Optimasi Lapisan Ketebalan *Coating*.
Nama Mahasiswa : Andi Yuditama
NIM : 3334180039
Fakultas : Teknik Metalurgi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi diatas adalah benar-benar hasil karya saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan oleh rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar pernyataan ini.

Cilegon, 16 Agustus 2022

Andi Yuditama

NIM. 3334180039

ABSTRAK

Material sebagai bahan utama konstruksi dan penunjang jika digunakan secara terus-menerus akan mengalami penurunan performa. Kondisi dari operasi dan lingkungan menyebabkan material mengalami korosi atau degradasi. Salah satu upaya untuk meminimalkan terjadinya korosi yaitu dengan metode pelapisan atau *coating*. Bagian terpenting dari *coating* yaitu ketebalan lapisan yang diterapkan pada material. Oleh karena itu, perlu adanya tahapan insepeksi untuk mengetahui hasil *coating*, salah satunya yaitu menggunakan sensor kapasitif. Pengukuran dengan sensor kapasitif dilakukan dengan mendapatkan nilai kapasitansi menggunakan alat *Vector Network Analyzer* (VNA). Dengan mengukur nilai kapasitansi material, sensor kapasitif dapat mengetahui ketebalan lapisan cat. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan ketebalan lapisan berdasarkan perubahan nilai kapasitansi serta membandingkannya dengan pengukuran menggunakan mikrometer sekrup. Benda uji yang digunakan yaitu akrilik dengan variasi tanpa lapisan, 1 lapisan dan 3 lapisan cat. Hasil pengukuran pada frekuensi 300 kHz – 3 MHz menunjukkan grafik kapasitansi dan nilai ketebalan lapisan cat yang diperoleh. Ketebalan untuk akrilik tanpa lapisan yaitu 2,30 mm, akrilik 1 lapisan cat adalah 2,49 mm dan akrilik 3 lapisan cat yaitu 2,56 mm. Nilai kapasitansi pada akrilik tanpa lapisan adalah 0,2 pF, 1 lapisan cat sebesar 0,4 pF dan 3 lapisan cat yaitu 2,5 pF. Hasil pengukuran dengan menggunakan mikrometer sekrup diperoleh untuk akrilik tanpa lapisan cat adalah 2,19 mm, 1 lapisan cat sebesar 2,30 mm dan 3 lapisan cat yaitu 2,39 mm. Adapun perbandingan dari ketebalan lapisan cat yang diperoleh dari pengolahan data VNA dan mikrometer sekrup untuk akrilik tanpa lapisan cat berbeda 0,11 mm, 1 lapisan cat berbeda 0,19 mm dan 3 lapisan cat berbeda 0,17 mm.

Kata Kunci : Degradasi material, *coating*, sensor kapasitif, kapasitansi

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, nikmat kesehatan, serta kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Pembuatan Sistem Sensor Kapasitif Untuk Optimasi Lapisan Ketebalan *Coating*. Dalam kesempatan ini Penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan sekaligus Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Ibu Dr. Amalia Sholehah, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Pertama dan Bapak Imamul Muttakin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Orang tua penulis yaitu Bapak R. Moh Harun dan Ibu Elatif Puji yang senantiasa mendoakan serta memberi dukungan moril dan materil kepada penulis.
4. Keluarga besar Teknik Metalurgi 2018 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa serta pegawai dan staf di lingkungan PT. CTECH Lab Edwar Teknologi.
5. Pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per-satu, yang telah membantu penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perkembangan penelitian yang lebih baik. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan.

Cilegon, 16 Agustus 2022

Andi Yuditama

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengujian Tidak Merusak (<i>Non-Destructive Test/NDT</i>)	5
2.2 Sensor Kapasitif.....	6
2.3 Impedansi	7
2.4 Kapasitor Seri & Pararel	8
2.4.1 Kapasitor Seri	9
2.4.2 Kapasitor Pararel.....	9
2.7 Osiloskop.....	9
2.8 <i>Vector Network Analyzer (VNA)</i>	11
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	13
3.2 Alat dan Bahan	14
3.2.1 Alat yang digunakan.....	14
3.2.2 Bahan yang digunakan	14
3.3 Prosedur Percobaan.....	15
3.3.1 Desain Sensor ECVT 9 <i>Channel</i>	15
3.3.2 Pembuatan Sampel dengan Ketebalan 1 & 3 Lapis	15

3.3.3 Karakterisasi Sensor dengan Osiloskop dan Signal Generator.....	16
3.3.4..... Karakterisasi Sensor dengan <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA)	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Desain Sensor ECVT 9 <i>Channel</i>	19
4.2 Karakterisasi Sensor Kapasitif	20
4.3 Uji Performa Sensor.....	24
4.3.1 Karakterisasi Sensor dengan alat Osiloskop dan Generator Fungsi.....	24
4.3.2 Karakterisasi Sensor dengan Alat <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA)	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN	38
LAMPIRAN B DATA HASIL PENELITIAN.....	39
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta Dielektrik Pada Beberapa Bahan	6
Tabel 4.1 Tegangan Terukur Pasangan elektroda Seluruh Variasi Cat	26
Tabel 4.2 Nilai Impedansi Imajiner Setiap Variasi Lapisan Cat	32
Tabel 4.3 Nilai Permittivitas Material	33
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Ketebalan Akrilik	34
Tabel B.1 Data Osiloskop Udara Tanpa Chamber	40
Tabel B.2 Data Osiloskop Udara Menggunakan Chamber	41
Tabel B.3 Data Osiloskop Akrilik Tanpa Lapisan.....	42
Tabel B.4 Data Osiloskop Akrilik 1 Lapisan Coating	44
Tabel B.5 Data Osiloskop Akrilik 3 Lapisan Coating	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Penggunaan UT	5
Gambar 2.2 Konsep Sensor Kapasitif	7
Gambar 2.3 Koordinat Kartesius	8
Gambar 2.4 Kapasitor Seri	9
Gambar 2.5 Kapasitor Paralel	9
Gambar 2.6 Osiloskop Digital & Analog	10
Gambar 2.7 <i>One-Port Network</i>	11
Gambar 2.8 <i>Two-Port Network</i>	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Sensor Kapasitif Ketebalan Lapisan Coating	14
Gambar 3.2 (a) Prototype Sensor (b) Desain 2D Sensor	15
Gambar 3.3 Sampel Uji Akrilik	16
Gambar 3.4 Pengukuran Sampel menggunakan Osiloskop	17
Gambar 3.5 Kit Kalibrasi dan Pengukuran Sampel dengan VNA	18
Gambar 4.1 Prototype Sensor ECVT 9 Channel	19
Gambar 4.2 Karakterisasi Sensor dengan Udara tiap pasangan elektroda (a) 1-2 (b) 1-4 (c) 2-3 (d) 2-5 (e) 3-6 (f) 4-5 (g) 4-7 (h) 5-6 (i) 5-8 (j) 6-9 (k) 7-8 (l) 8-9	21
Gambar 4.3 Rata-rata Nilai Tegangan Seluruh Pasangan Elektroda di Setiap Frekuensi	22
Gambar 4.4 Rata-rata Nilai Tegangan Seluruh Pasangan Elektroda di Setiap Frekuensi Tanpa Pasangan Elektroda 3-6	23
Gambar 4.5 Nilai Karakterisasi Tiap Frekuensi Untuk Pasangan Elektroda (a) 1-2 (b) 1-4 (c) 2-3 (d) 2-5 (e) 3-6 (f) 4-5 (g) 4-7 (h) 5-6 (i) 5-8 (j) 6-9 (k) 7- 8 (l) 8-9	25
Gambar 4.6 Rata-rata Nilai Tegangan Seluruh Pasangan Elektroda di Setiap Frekuensi dengan Variasi <i>Coating</i>	27
Gambar 4.7 Grafik Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi (udara)	28

Gambar 4.8 Grafik Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi Untuk Sampel Akrilik Tanpa Lapisan Cat	29
Gambar 4.9 Grafik Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi Untuk Sampel Akrilik 1 Lapisan Cat.....	29
Gambar 4.10 Grafik Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi Untuk Sampel Akrilik 3 Lapisan Cat.....	29
Gambar 4.11 Grafik Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi (udara)	30
Gambar 4.12 Grafik Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi Untuk Sampel Akrilik Tanpa Lapisan Cat	31
Gambar 4.13 Grafik Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi Untuk Sampel Akrilik 1 Lapisan Cat.....	31
Gambar 4.14 Grafik Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi Untuk Sampel Akrilik 3 Lapisan Cat.....	31
Gambar 4.15 Nilai Kapasitansi terhadap Frekuensi Untuk Setiap Variasi	32
Gambar 4.16 Kapasitansi terhadap Seluruh Pasangan elektroda	33
Gambar 4.17 Nilai Kapasitansi Sensor terhadap Ketebalan Objek pada Frekuensi 2,1 MHz	34
Gambar C.1 Osiloskop.....	50
Gambar C.2 Generator Fungsi.....	50
Gambar C.3 <i>Vector Network Analyzer</i>	50
Gambar C.4 Kit kalibrasi	50
Gambar C.5 Sensor ECVT 9 <i>Channel</i>	50
Gambar C.6 Kabel Konektor.....	50
Gambar C.7 Chamber	51
Gambar C.8 Akrilik	51
Gambar C.9 Cat	51
Gambar C.10 Probe Kalibrasi.....	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, material yang akan digunakan sebagai bahan utama konstruksi atau pun bahan penunjang diharapkan mempunyai performa yang baik dan waktu pakai yang panjang. Setiap material yang digunakan akan mengalami korosi atau degradasi. Degradasi material merupakan perusakan material yang dapat merugikan atau menurunkan performa material yang diakibatkan oleh pengoperasian dan lingkungan sekitarnya. Degradasi material yang terjadi pada permukaan material terpapar langsung oleh lingkungannya. Hal-hal yang perlu dilakukan untuk meminimalkan terjadinya degradasi material serta umur pakai yang panjang yaitu dengan salah satu metode proteksi yang biasa digunakan dengan pelapisan atau *coating*. *Coating* merupakan teknik pelapisan suatu bahan material dibagian permukaan untuk melindungi material dari kontak langsung dengan benda pada saat aplikasi atau dengan lingkungannya. Selain untuk melindungi permukaan material, *coating* juga digunakan sebagai dekorasi material (Fontana and Greene, 1987).

Bagian yang perlu diperhatikan pada *coating* yaitu ketebalan lapisan. Jika lapisan yang diterapkan pada material terlalu tebal maka lapisan tersebut tidak dapat melekat dengan baik, sedangkan lapisan yang terlalu tipis tidak akan mampu memberikan proteksi pada material. Oleh karena itu, ketebalan lapisan pada proses *coating* material perlu diketahui. Metode yang sering digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan yaitu teknik pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Test*, NDT) misalnya *ultrasonic testing*.

Pengujian tidak merusak yang umum digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan yaitu dengan *ultrasonic testing*. Aplikasi dari *ultrasonic testing* adalah untuk mengetahui cacat, retak serta pengukuran dimensi pada material. Prinsip *ultrasonic testing* yaitu memanfaatkan rambatan gelombang ultrasonik yang dikeluarkan oleh *transducer* pada benda kerja/material lalu gelombang baliknya ditangkap oleh *receiver* (Bernieri *et al.*, 2018). *Ultrasonic testing* memiliki banyak

kekurangan seperti diperlukannya operator yang sudah terlatih, perlu *couplant* (cairan untuk media transmisi), tidak bisa dilakukan terhadap benda uji dengan permukaan kasar, bentuk tidak beraturan, ukurannya kecil dan tipis, serta tidak homogen maka akan sangat sulit untuk dilakukan pengujian. Maka dari itu metode alternatif pengganti untuk mengukur ketebalan lapisan yang dapat mengatasi kekurangan dari metode *ultrasonic testing* yaitu dengan menggunakan sensor kapasitif.

Sensor kapasitif merupakan teknologi yang menggunakan pelat kapasitif dan mengukur segala sesuatu yang memiliki nilai dielektrik. Konsep yang digunakan kapasitor dalam sensor kapasitif yaitu proses menyimpan dan melepas energi listrik dalam bentuk muatan-muatan listrik pada kapasitor yang dipengaruhi oleh luas permukaan, jarak dan bahan dielektrik (Terzic, 2012). Kapasitor memiliki berbagai macam bentuk dan ukuran tetapi pada prinsipnya tersusun dari dua keping konduktor dan dipisahkan oleh dielektrik. Sensor kapasitif bekerja berdasarkan metode kapasitif yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan komposisi bahan dielektrik dengan menentukan nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik.

Perubahan lapisan *coating* menyebabkan adanya perubahan nilai kapasitansi pada sensor kapasitif yang dapat diketahui dengan mengukur menggunakan alat *vector network analyzer* (VNA) berupa data *log magnitude* dan *phase*, yang nantinya data tersebut akan diolah untuk menjadi nilai kapasitansi. Pada penelitian terdahulu, aplikasi sensor berhasil didesain dan difabrikasi akan tetapi belum bisa mengukur ketebalan lapisan lebih tipis. Hal ini dapat dilihat dengan hasil substrat akrilik 5mm dengan *coating* 10 lapisan yaitu nilai tegangan output 312 mV menggunakan *capacitometer* (Aditya, 2021). Dengan demikian tujuan akhir yang diharapkan pada penelitian ini yaitu besaran tegangan yang diperoleh dapat menggambarkan karakteristik sensor, pengolahan data VNA untuk mengetahui perubahan nilai kapasitansi untuk ketebalan lapisan *coating* serta membandingkan nilai pengolahan data VNA dengan pengukuran ketebalan lapisan *coating* menggunakan alat mikrometer sekrup.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, sensor belum mampu untuk mengukur ketebalan lapisan cat pada substrat akrilik secara akurat. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengecekan ulang menggunakan substrat akrilik lebih tipis dan karakterisasi sensor untuk mengetahui frekuensi optimum pada sensor. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitansi yaitu dengan memanfaatkan pengukuran berdasarkan data *log magnitude* dan *phase* yang telah diolah datanya menjadi kapasitansi. Dengan demikian, nilai kapasitansi dari hasil pengukuran diharapkan dapat terukur yang selanjutnya akan berkorelasi dengan ketebalan lapisan.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka tujuan penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengukur besaran tegangan yang diperoleh untuk menggambarkan karakteristik sensor.
2. Melakukan uji performa sensor untuk mengetahui perubahan nilai kapasitansi untuk ketebalan lapisan cat.
3. Membandingkan nilai pengukuran ketebalan lapisan cat hasil pengolahan data VNA dengan pengukuran ketebalan lapisan menggunakan mikrometer sekrup .

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini meliputi sebagai berikut:

1. Sensor ECVT 9 *channel*.
2. Substrat akrilik dengan variasi *coating* akrilik tanpa lapisan, 1 lapis dan 3 lapisan cat.
3. Cat di gunakan sebagai pelapis sampel.
4. *Chamber* dilapisi *Copper Foil* dengan ukuran 22 x 18 x 10 cm
5. Proses pengukuran sensor menggunakan osiloskop dan generator sinyal untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan pada frekuensi tertentu untuk melihat karakteristik dari sensor.

6. Proses pengukuran sensor dengan menggunakan VNA untuk mengetahui nilai kapasitansi yang diperoleh dari sensor.
7. Penelitian dilakukan di Laboratorium Advanced Material and Tomography (AMT) Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten dan CTECH Laboratories Edwar Technology, Alam Sutera, Kota Tangerang Selatan, Banten.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab, daftar pustaka dan lampiran. Bab I pendahuluan membahas mengenai latar belakang yang melandasi perlunya dilakukan penelitian mengenai ketebalan lapisan *coating*, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan laporan. Bab II tinjauan pustaka berisi mengenai literatur pendukung dilakukannya suatu penelitian. Bab III metode penelitian berisi tentang metodologi yang berisi tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian serta prosedur penelitian yang bersangkutan. Bab IV hasil dan pembahasan menjelaskan hasil dari penelitian yang dilakukan mengenai sensor untuk ketebalan lapisan *coating* dan analisa pembahasannya. Bab V kesimpulan dan saran dari penelitian. Daftar pustaka menyebut beberapa literatur yang digunakan sebagai dasar dan penunjang penelitian. Lampiran menjelaskan data hasil penelitian dan gambar alat serta bahan yang digunakan.

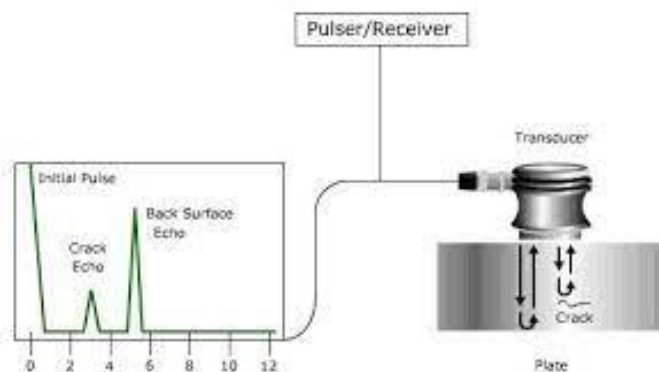
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengujian Tidak Merusak (*Non Destructive Test, NDT*)

Pengujian tidak merusak merupakan pengujian terhadap suatu material untuk mengetahui adanya cacat, retak, tanpa merusak benda uji. Teknik NDT yang dapat digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan yaitu pengujian ultrasonik. Pada proses inspeksi menggunakan pengujian ultrasonik, gelombang ultrasonik berfrekuensi tinggi diatas 20 kHz dipancarkan, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi cacat pada benda, pengukuran dimensi cacat dan menentukan ketebalan benda uji. Secara umum metode ini digunakan untuk pengukuran ketebalan plat kapal, perawatan sambungan pipa saluran gas dengan minyak, proses perawatan komponen pada pesawat, bagian dari proses *manufacturing* dengan tujuan menjaga benda atau komponen tersebut tetap pada kondisi yang baik (Kristianto, 2013).

Secara umum, prinsip kerja dari proses inspeksi benda uji menggunakan metode ultrasonik yaitu dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik yang sangat tinggi sebesar 20 kHz ke benda uji menggunakan suatu *transducer* atau *probe* yang memiliki fungsi sebagai *transmitter* dan *receiver*. Apabila gelombang yang dipancarkan dan terpantulkan kembali dengan sempurna ke *transducer* maka benda tersebut dalam keadaan baik, apabila kasusnya terdapat suatu kecacatan pada benda maka gelombang yang dipantulkan tersebut tidak akan sempurna mengenai permukaan yang cacat ditengah perambatannya. Prinsip kerja dari pengujian ultrasonik seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Pengujian Ultrasonik (Testindo.com, 2018)

Pengujian ultrasonik merupakan metode pengujian tidak merusak yang memanfaatkan rambatan gelombang ultrasonik yang dikeluarkan oleh *transducer* pada benda kerja/material lalu gelombang baliknya ditangkap oleh *receiver* untuk menentukan cacat yang ada pada material (Bernieri *et al.*, 2018).

2.2 Sensor Kapasitif

Sensor kapasitif merupakan sensor elektronika yang mengukur kapasitansi antara dua atau lebih konduktor pada bahan dielektrik. Konsep yang digunakan kapasitor dalam sensor kapasitif yaitu proses menyimpan dan melepas energi listrik dalam bentuk muatan-muatan listrik pada kapasitor yang dipengaruhi oleh luas permukaan, jarak dan bahan dielektrik (Terzic, 2012). Kapasitor memiliki berbagai macam bentuk dan ukuran tetapi pada prinsipnya tersusun dari dua keping konduktor dan dipisahkan dengan oleh dielektrik.

$$Q = C.V \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

Q = Muatan Listrik (*coulomb*)

C = Kapasitansi (F)

V = Tegangan Terukur (*volt*)

Tabel 2.1 Konstanta Dielektrik pada Beberapa Bahan (Terzic, 2012)

Material	Konstanta Dielektrik
Vakum	1
Udara	1,00054
Polyvinyl Klorida (PVC)	3,54
Air	80,1

Kapasitansi merupakan besaran yang mempresentasikan kemampuan untuk menampung muatan listrik pada suatu kapasitor. Ukuran dan bentuk dari suatu konduktor sangat mempengaruhi nilai kapasitansi yang akan bertambah apabila terdapat bahan dielektrik. Kapasitansi kapasitor dalam geometri dan konstan dielektriknya sebagai berikut (Terzic, 2012):

$$C = \epsilon_r \frac{\epsilon_0 A}{d} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

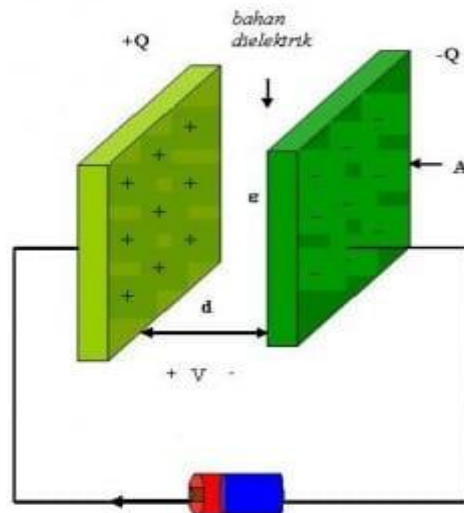
C = Kapasitansi (F)

ϵ_r = Permittivitas (udara = 1)

ϵ_0 = Permittivitas ruang hampa ($8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m)

A = Luas pelat/lempeng (m^2)

d = Jarak antara pelat/lempeng (m)



Gambar 2.2. Konsep Sensor Kapasitif

Pengukuran kapasitansi dilakukan dengan menempatkan material dielektrik diantara pelat kapasitor. Nilai kapasitansi yang terukur akan bergantung pada jenis material dielektrik. Konstanta dielektrik material berhubungan dengan kemampuan material untuk menstransmisikan medan listrik (Terzic, 2012):

$$C = \epsilon_r C_0 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

C = Kapasitansi (F)

ϵ_r = Konstanta dielektrik material

C_0 = Kapasitansi dengan tidak adanya konstanta dielektrik (F)

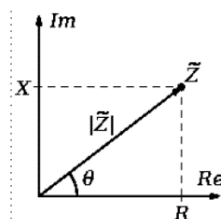
2.3 Impedansi

Impedansi listrik atau lebih sering disebut impedansi, menjelaskan tentang ukuran penolakan terhadap arus bolak balik sinusoid. Impedansi listrik memperluas konsep resistansi listrik ke sirkuit AC, menjelaskan tidak hanya dari tegangan dan

arus, tetapi juga fase. Impedansi adalah kuantitas kompleks yang dinotasikan dengan Z dan istilah impedansi kompleks mungkin dapat dipertukarkan. Bentuk polar secara praktis menunjukkan baik karakteristik dan fase.

$$Z = Z e^{j\theta} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana magnitude Z menunjukkan perbandingan perbedaan tegangan terhadap arus, θ memberikan perbedaan fase antara tegangan dan arus, sedangkan j adalah bilangan imajiner (Reza Zekavat, 2013).



Gambar 2.3 Impedansi dalam Koordinat Kartesius (Reza Zekavat, 2013)

Dalam koordinat kartesius:

$$Z = R + jX \dots\dots\dots(2.5)$$

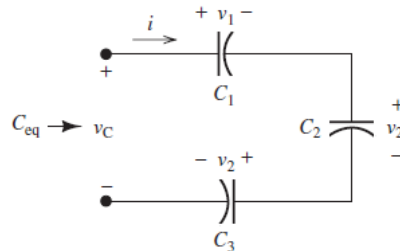
Dimana bagian nyata dari impedansi adalah resistansi (R) dan bagian imajiner adalah reaktansi (X). Secara dimensi, impedansi sama dengan resistansi dan satuan SI adalah ohm. Istilah impedansi digunakan pertama kali oleh Oliver Heaviside pada juli 1886. Arthur Kennelly adalah yang pertama kali menunjukkan dengan bilangan kompleks pada 1893. Kebalikan dari impedansi adalah admitansi.

2.4 Kapasitor Seri & Pararel

Kapasitor merupakan suatu alat yang dapat menyimpan energi/muatan listrik didalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kapasitor dalam rangkaian elektronika dilambangkan dengan huruf “C”. Kapasitor sama seperti resistor, dapat diatur menjadi koneksi seri. Rumus pada kapasitor dapat digunakan untuk menghitung kapasitansi jaringan kapasitor yang lebih kompleks (Reza Zekavat, 2013).

2.4.1 Kapasitor Seri

Rangkaian kapasitor secara seri akan mengakibatkan nilai kapasitansi total semakin kecil. Adapun rangkaian kapasitor seri ini dapat dilihat pada Gambar 2.4.



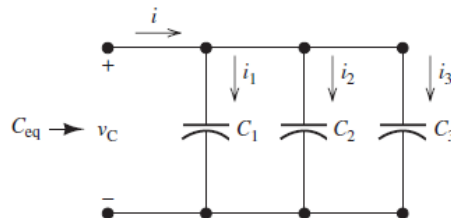
Gambar 2.4 Kapasitor Seri (Reza Zekavat, 2013)

Secara umum, metode perhitungan kapasitansi ekivalen kapasitor secara seri seperti perhitungan resistor. Rumusnya sebagai berikut:

$$C_{eq} = \left[\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \right]^{-1} \dots\dots\dots(2.6)$$

2.4.2 Kapasitor Pararel

Rangkaian kapasitor secara pararel akan mengakibatkan nilai kapasitansi pengganti semakin besar. Adapun rangkaian kapasitor ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kapasitor Pararel (Reza Zekavat, 2013)

Pada rangkaian kapasitor berlaku rumus sebagai berikut:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \dots\dots\dots(2.7)$$

2.5 Osiloskop

Osiloskop merupakan alat ukur elektronik yang dapat memetakan atau memproyeksikan sinyal listrik dan frekuensi menjadi gambar grafik agar dapat diamati, dibaca dan mudah untuk dipelajari. Dengan menggunakan alat osiloskop

kita dapat mengamati dan menganalisa bentuk gelombang dari sinyal listrik atau frekuensi dalam suatu rangkaian. Saat ini terdapat dua jenis osiloskop yaitu osiloskop analog dan osiloskop digital. Berdasarkan prinsip kerja keduanya sama-sama menerima sinyal input berupa tegangan listrik kemudian menampilkannya ke sebuah *display*, namun proses pengubahan sinyal input tersebut agar dapat ditampilkan kedalam *display* keduanya berbeda (Bachmid, Poekoel and Wuwung, 2017).

Pada osiloskop analog sinyal input yang masuk hanya melewati bagian vertikal dan langsung dikondisikan ke bagian sistem *display*, sementara itu untuk osiloskop digital harus melalui proses pengubahan sinyal ke kode-kode biner, penyimpanan dalam memori dan proses rekonstruksi bentuk gelombang ke sistem *display*. Dikarenakan proses yang harus dilalui oleh sinyal pada osiloskop digital sedikit panjang dan harus melalui proses digitalisasi maka jika ditinjau osiloskop analog akan lebih unggul daripada osiloskop digital (Bachmid, Poekoel and Wuwung, 2017).



Gambar 2.6 Osiloskop Digital dan Analog

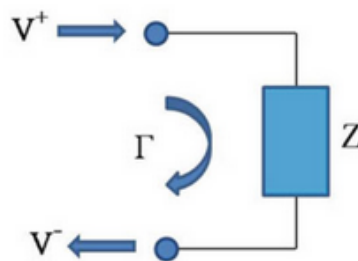
Pada umumnya osiloskop dapat menampilkan grafik Dua Dimensi (2D). Osiloskop dapat mengukur karakteristik yang berbasis tegangan (Voltage) pada sumbu Y dan mengukur karakteristik yang berbasis waktu (Time) pada sumbu X. Pengukuran berbasis tegangan yaitu: Amplitudo adalah ukuran besarnya suatu sinyal atau tingginya puncak gelombang. Pengukuran dari puncak tertinggi ke puncak terendah (V_{pp}), mengukur salah satu puncaknya saja baik yang tertinggi maupun yang terendah dan tegangan rata-rata. Pengukuran berbasis waktu yaitu: Frekuensi (jumlah getaran dalam 1 detik), periode (waktu untuk 1 getaran), *duty cycle* (perbandingan lama kondisi ON dengan kondisi OFF pada setiap periode),

rise time (waktu perubahan sinyal terendah ke tertinggi), *fall time* (waktu perubahan sinyal tertinggi ke terendah)(Temapela, 2019).

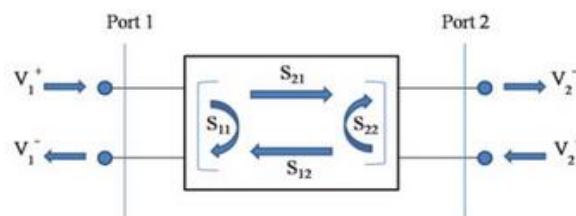
2.6 Vector Network Analyzer (VNA)

Vector Network Analyzer (VNA) merupakan peralatan yang digunakan untuk pengukuran respon frekuensi, dari jaringan dimana kekuatan sinyal dengan kecepatan tinggi yang masuk dan kembali dari jaringan yang memperoleh perhitungan parameter *return loss* dan *insertion loss* dari jaringan yang diuji (Labun *et al.*, 2020). VNA digunakan untuk pengukuran koefisien transmisi (TC) dan koefisien refleksi (RC) pada suatu material dengan frekuensi gelombang mikro. Koefisien transmisi (TC) dan koefisien refleksi (RC) yang diperoleh digunakan untuk mendapatkan nilai *permittivity* (dielektrik) dan *permeability* (*magnetic*). VNA yang digunakan terdiri dari sumber sinyal, penerima dan tampilan. Prinsip pengukuran VNA adalah pengukuran rasio koheren antara sinyal yang ditransmisikan dan diterima melalui pemancar atau penerima yang dihubungkan ke VNA.

VNA mengukur fase insiden dan gelombang pantulan. VNA membutuhkan implementasi yang lebih kompleks tetapi memiliki akurasi yang lebih tinggi dan presisi. Adapun jenis port jaringan terdapat pada Gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 One-Port Network (Shoaib, 2017)



Gambar 2.8 Two-Port Network (Shoaib, 2017)

Dalam jaringan dua sisi seperti pada gambar 2.8, terdapat juga maju dan membalikkan transmisi selain memantul, jumlah ini dapat dinyatakan dalam hal *scattering* parameter (s-parameter) (Shoaib, 2017). S-parameter didefinisikan sebagai rasio dari jumlah gelombang refleksi dan insiden. Dalam kasus jaringan dua sisi terdapat empat s-parameter yaitu S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22} . Untuk S_{11} dan S_{22} merupakan masukan dan keluaran koefisien refleksi dari masing-masing port 1 dan port 2. Sementara S_{21} dan S_{12} mewakili maju dan membalikkan koefisien transmisi masing-masing. S-parameter dapat dituliskan dalam bentuk matriks berikut:

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana V_1^- dan V_2^- merupakan gelombang pasang, sedangkan V_1^+ dan V_2^+ merupakan insiden di port 1 dan port 2. Bentuk lebih umum s-parameter ini dapat ditulis sebagai berikut:

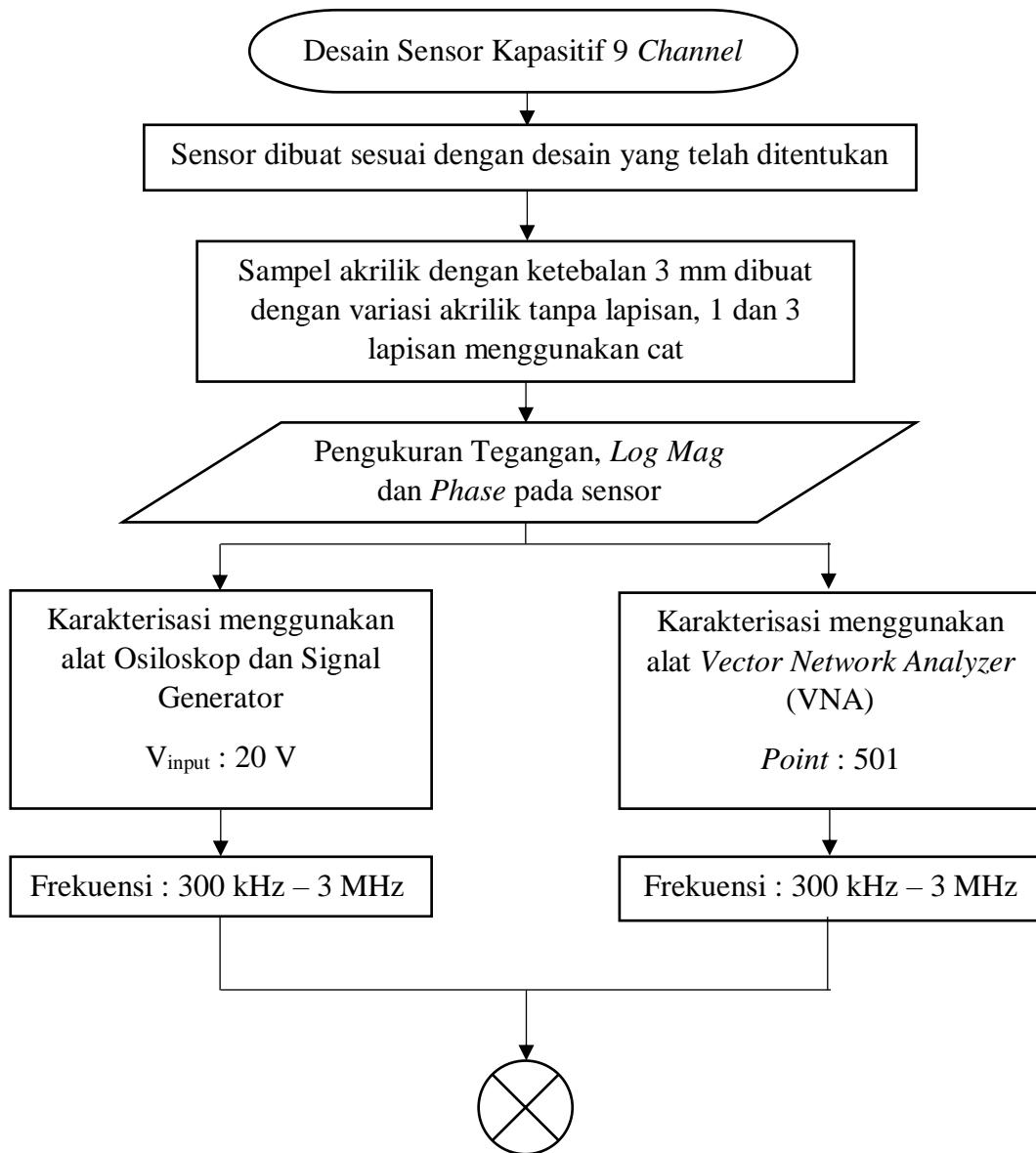
$$S_{mn} = \frac{V_m^-}{V_n^+}; V_{m \neq n}^+ = 0 \dots\dots\dots(2.11)$$

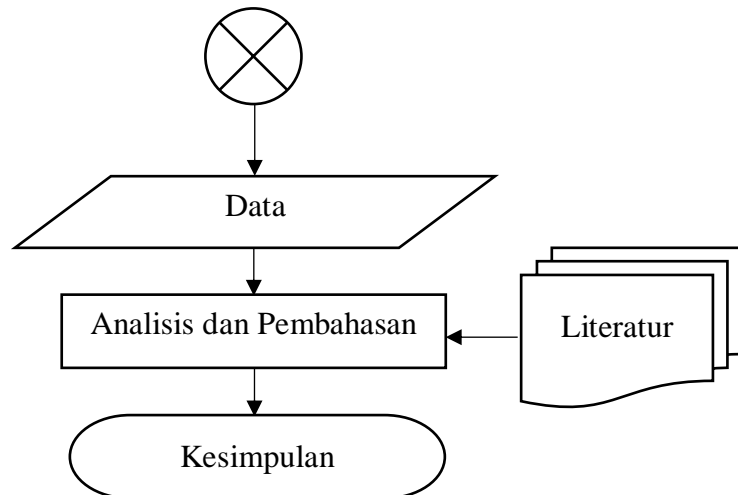
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada bab ini akan dibahas mengenai metode yang akan digunakan pada penelitian pengujian sensor kapasitif untuk mengoptimasi lapisan ketebalan *coating*. Mekanisme penelitian akan dijelaskan melalui diagram alir penelitian dan prosedur percobaan pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Sensor Kapasitif Ketebalan Lapisan *Coating*

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian sensor kapasitif adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat-alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. *Vector Network Analyzer* (VNA)
2. Osiloskop
3. Generator Sinyal
4. Mikrometer Sekrup
5. *Chamber*

3.2.2 Bahan-bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

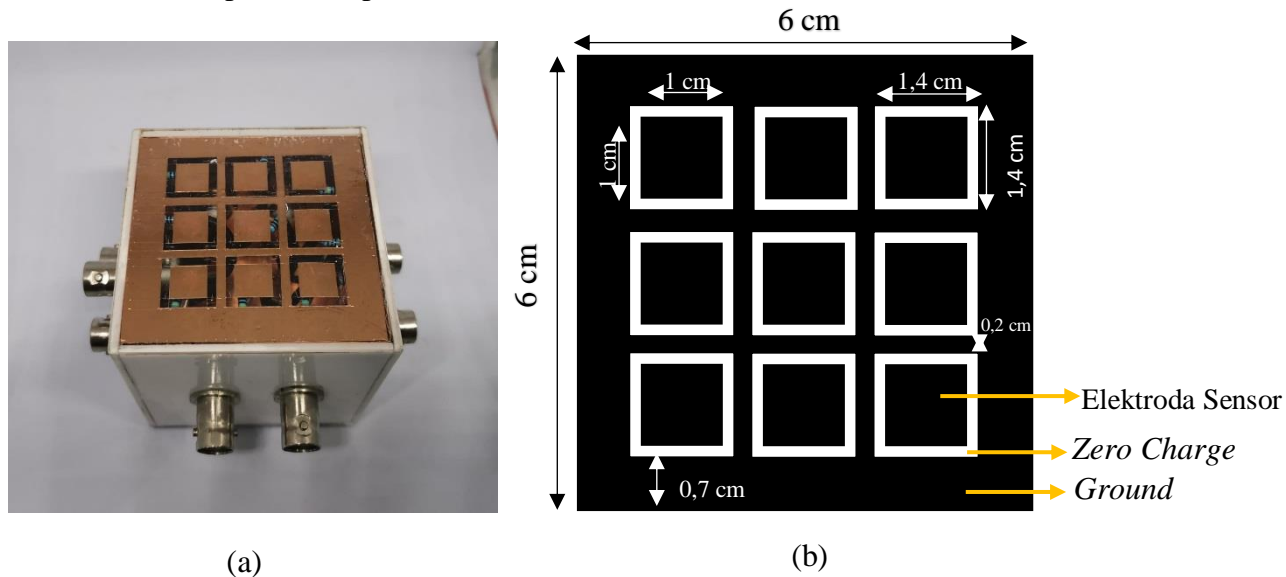
1. Akrilik
2. Cat
3. *Copper Foil*
4. Kabel BNC

3.3 Prosedur Penelitian

Untuk menyelesaikan penelitian terdapat beberapa prosedur yang dilakukan yaitu:

3.3.1 Desain Sensor Kapasitif 9 Elektroda

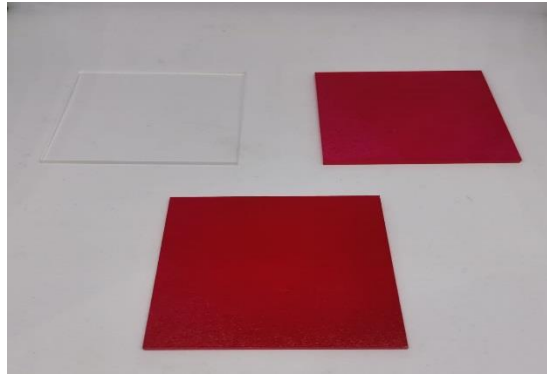
Desain 2D dari sensor kapasitif 9 elektroda berukuran 6 cm x 6 cm berisi 9 elektroda sebesar 1 cm x 1 cm. Skema desain sensor dan prototipe sensor dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 (a) Prototipe Sensor (b) Desain 2D Sensor

3.3.2 Pembuatan Sampel dengan Ketebalan 1 dan 3 Lapisan

Tahapan pembuatan sampel dimulai dengan mempersiapkan akrilik 3 mm yang dipotong menjadi ukuran 6 cm x 6 cm. Kemudian dilakukan pengecatan dengan dua variasi yaitu 1 lapisan dan 3 lapisan cat. Pengeringan lapisan dilakukan menggunakan sinar matahari. Untuk sampel dengan 3 lapisan cat, lapisan pertama dibiarkan mengering dengan jarak waktu 20-25 menit di tempat yang terkena sinar matahari, lalu dilakukan berulang hingga 3 kali. Sampel uji akrilik dengan dan tanpa lapisan cat dapat dilihat pada Gambar 3.3.



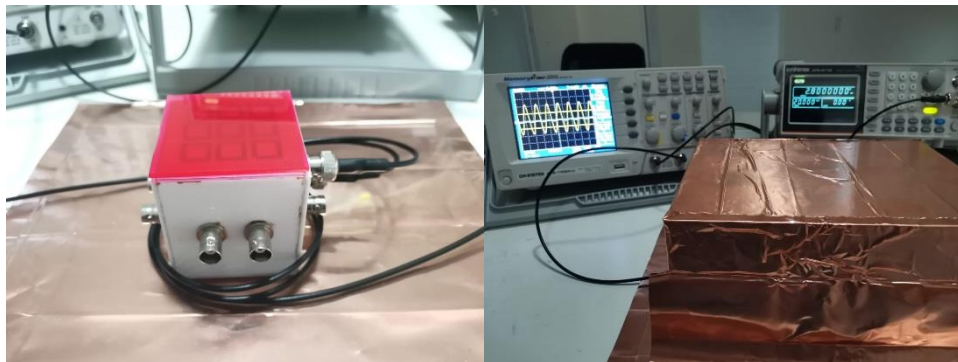
Gambar 3.3 Sampel Uji Akrilik

3.3.3 Karakterisasi Sensor dengan alat Osiloskop dan Generator Sinyal

Pengukuran tegangan yang dilakukan dengan menggunakan alat osiloskop dan generator sinyal mula-mula dengan mempersiapkan alat dan kabel *probe*. Osiloskop dan generator sinyal dinyalakan dan ditunggu sekitar 10 menit. Sebelum dilakukan pengukuran tegangan pada sensor, alat osiloskop harus dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi alat osiloskop dilakukan dengan menghubungkan kabel *probe* pada CH1 dan ujung capit dihubungkan pada bagian CAL. Kemudian setelah menekan tombol Autoset, akan tampak garis vertikal dan horizontal yang tidak beraturan pada layar osiloskop. Batas ukur *probe* dan selektor selanjutnya diatur pada posisi vertikal dan horizontal hingga tepat pada nilai 0. Setelah itu, putar dan atur Knob CH1 pada posisi 2 volt/div. Jika nilai sudah benar 2 volt maka kalibrasi berhasil dan tinggal mengatur Knob Time/Div. Putar lalu atur knob time/div ke posisi 0,5 ms/div agar nilai satu gelombang menjadi 1 kHz, lalu nilai periode dalam satu gelombang dihitung dengan nilai $0,5 \text{ ms} + 0,5 \text{ ms}$ menjadi 1 ms. Pengaturan knob CH2 cukup dengan mengkalibrasi tegangan saja dan osiloskop siap untuk digunakan.

Pengukuran tegangan pada sensor dilakukan setiap pasangan elektroda. Frekuensi yang diatur pada alat generator sinyal yaitu 300 kHz – 3000 kHz. Hubungkan 2 kabel BNC pada generator sinyal. Kabel pertama dihubungkan ke CH1, dimana generator sinyal berfungsi sebagai *transmitter*. Kabel kedua dihubungkan ke CH2 sebagai *receiver* yang

besaran tegangannya akan ditampilkan pada layar osiloskop. Pengukuran ini dilakukan pada kondisi temperatur ruang. Sampel diletakkan diatas sensor bergantian dengan variasi yang dilakukan yaitu udara, akrilik tanpa lapisan, 1 lapisan dan 3 lapisan cat pada semua pasangan elektroda dengan dua kali pengukuran yang menggunakan *chamber* dan tanpa *chamber*. Hasil pengukuran tegangan dari seluruh pasangan elektroda pada sensor yang terdapat pada layar osiloskop dicatat.



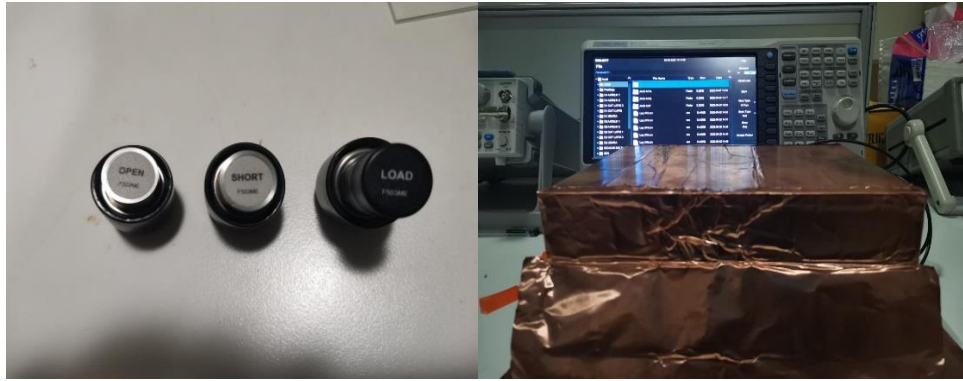
Gambar 3.4 Pengukuran Sampel menggunakan Osiloskop

3.3.4 Karakterisasi Sensor dengan *Vector Network Analyzer* (VNA)

Sebelum dilakukannya pengukuran dengan menggunakan VNA, alat terlebih dahulu dikalibrasi. Mula-mula alat VNA dan kit kalibrasi dipersiapkan, lalu nyalakan VNA dan tunggu sekitar 10 menit. Pertama pilih mode VNA, lalu *setting* frekuensi dan jumlah titik yang ingin dilakukan pengukuran. Selanjutnya, pada menu kalibrasi, pasang kit kalibrasi untuk *open cal* di Port 1 lalu tekan *open cal*, dan *enter*. Setelah itu, pasang kit *short cal* di Port 1 lalu tekan *short cal*, dan *enter*. Terakhir, pasang kit *load cal* di port 1 lalu tekan *load cal*, dan *enter*. Setelah dilakukan kalibrasi pada VNA, dapat dilakukan pengukuran kapasitansi pada sensor untuk seluruh pasangan elektroda.

Pengukuran kapasitansi sensor menggunakan alat VNA tidak berbeda jauh dengan menggunakan osiloskop, hanya berbeda pada setingannya dan hasil yang diperoleh. Untuk osiloskop data yang diperoleh yaitu berupa tegangan terukur, sedangkan VNA berupa nilai *Log Magnitude* dan *Phase* yang diolah untuk menjadi nilai impedansi dan kapasitansi. Frekuensi yang digunakan yaitu 300 kHz – 3 MHz dengan jumlah titik yang

dipakai sebanyak 501. Pada saat pengukuran, sampel diletakkan di atas sensor untuk setiap pasangan elektroda. Pengukuran sampel dengan menggunakan alat VNA dilakukan dengan variasi udara, akrilik, akrilik dengan 1 lapisan dan 3 lapisan cat yang menggunakan *chamber*.



Gambar 3.5 Kit kalibrasi dan Pengukuran Sampel dengan VNA

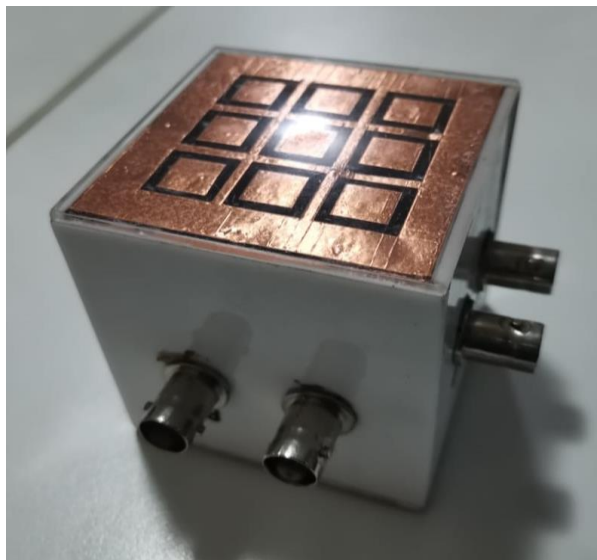
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, dihasilkan data penelitian yang dapat diolah dan dianalisis lebih lanjut. Data yang diperoleh dari penelitian dengan menggunakan alat osiloskop dan generator sinyal didapatkan nilai tegangan terukur pada masing-masing pasangan elektroda serta dengan alat *Vector Network Analyzer* (VNA) didapatkan nilai *log magnitude* dan *phase* untuk sensor dengan variasi udara, akrilik, 1 lapisan dan 3 lapisan. Pada bab ini akan ditampilkan berupa data-data hasil penelitian menggunakan alat osiloskop, generator sinyal, VNA dan hasil pengolahan sensor optimal. Hasil eksperimen kemudian akan dibandingkan dengan literatur yang menunjang penelitian ini.

4.1 Desain Sensor Kapasitif 9 Channel

Desain sistem sensor kapasitif 9 *channel* dibuat dengan ukuran sensor dengan panjang 6 cm, lebar 6 cm dan tinggi 6 cm. Ukuran elektroda pada sensor yaitu 1 cm x 1 cm. Prototipe hasil pembuatan sensor kapasitif 9 *channel* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



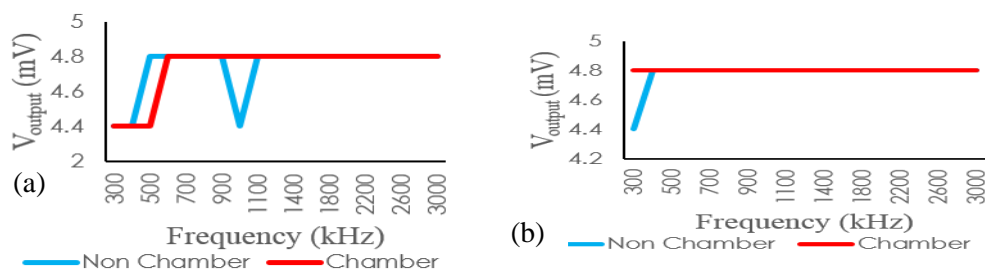
Gambar 4.1 Prototipe Sensor Kapasitif 9 Channel

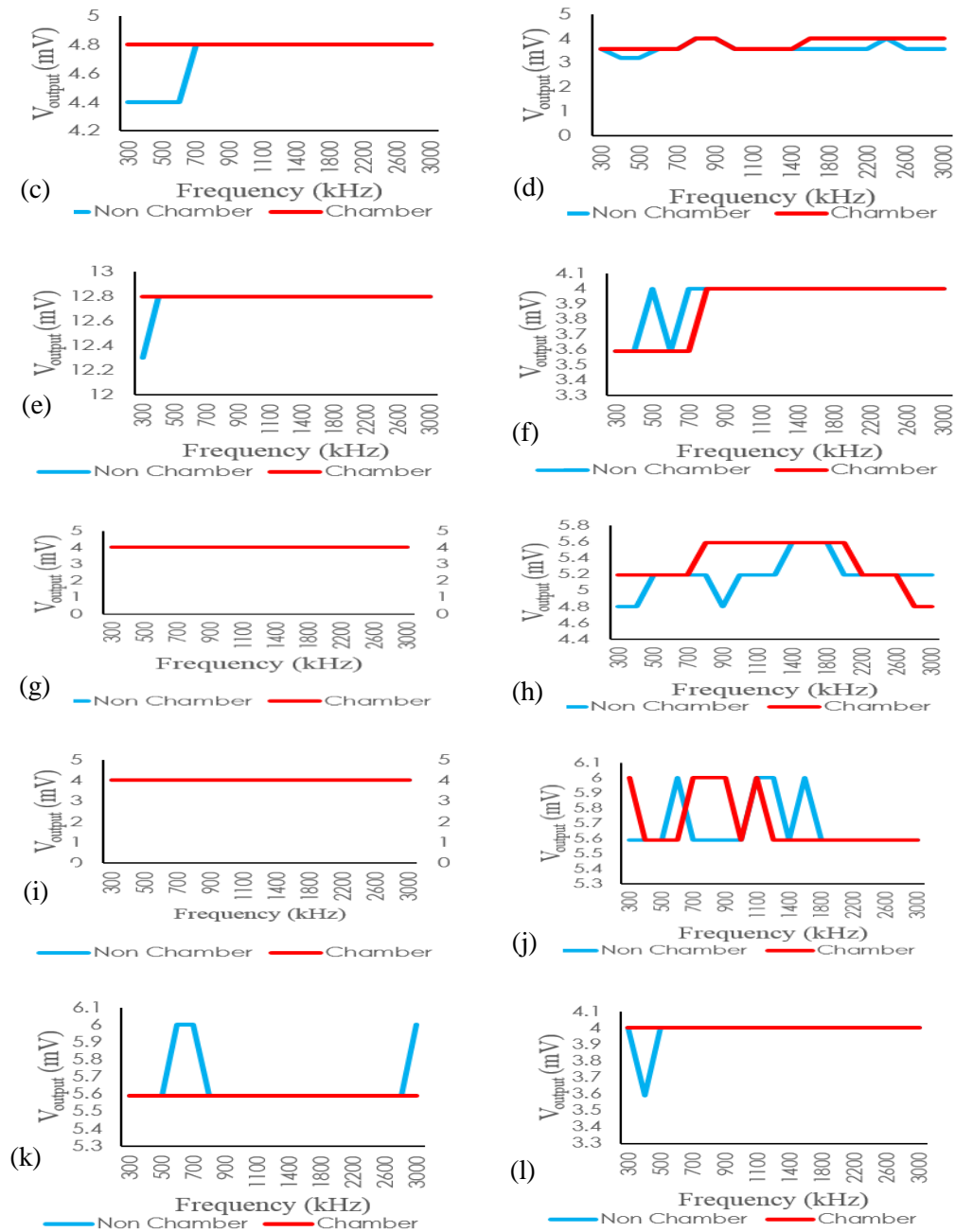
4.2 Karakterisasi Sensor Kapasitif

Proses karakterisasi bertujuan untuk mengetahui frekuensi kerja dan tegangan yang dihasilkan oleh sensor, sehingga sinyal optimum yang bekerja berdasarkan konsep kapasitif, diaplikasikan untuk uji performa sensor. Proses pengukuran tegangan pada sensor dilakukan dengan menggunakan alat osiloskop dan generator fungsi. Osiloskop digunakan untuk melihat sinyal yang diterima oleh sensor, sedangkan generator fungsi untuk memberi tegangan input pada sensor. Tegangan input yang digunakan yaitu sebesar 20V serta pada frekuensi 300 kHz – 3 MHz. Pengukuran tegangan sensor dilakukan pada temperatur ruang tanpa benda uji (udara dan sensor dengan *chamber*) serta akrilik.

Pengukuran tegangan sensor kapasitif dilakukan untuk mengetahui kinerja sensor yang telah dibuat. Pengukuran tegangan sensor untuk mengetahui kinerja sensor terhadap pengaruh variasi frekuensi *input*, amplitudo dan penggunaan *chamber* yang digunakan terhadap tegangan *output* yang dihasilkan oleh sensor. Penggunaan *chamber* dapat mempengaruhi pola respon terhadap tegangan, hal ini dikarenakan *chamber* dapat mencegah keluar masuknya udara. *Chamber* yang digunakan berbahan akrilik dengan dilapisi *copper foil*.

Hasil pengukuran dengan osiloskop berupa tegangan terukur yang mana pengukuran yang dilakukan tanpa menggunakan *chamber*, tegangan di setiap peningkatan frekuensi nilainya fluktuasi. Berbeda pengukuran tegangan dengan menggunakan *chamber*, sebagian besar pada pasangan elektroda nilai tegangan terukur tidak mengalami fluktuatif. Hal ini bisa disebabkan karena jarak elektroda yang ditempatkan tidak sesuai atau tidak pada posisi yang telah di desain sehingga dapat memengaruhi pada hasil pengukurannya. Dampak dari hal tersebut tegangan terukur pada pasangan elektroda 3-6 mendapatkan nilai tegangan melebihi rata-rata dari pasangan elektroda sensor lainnya.





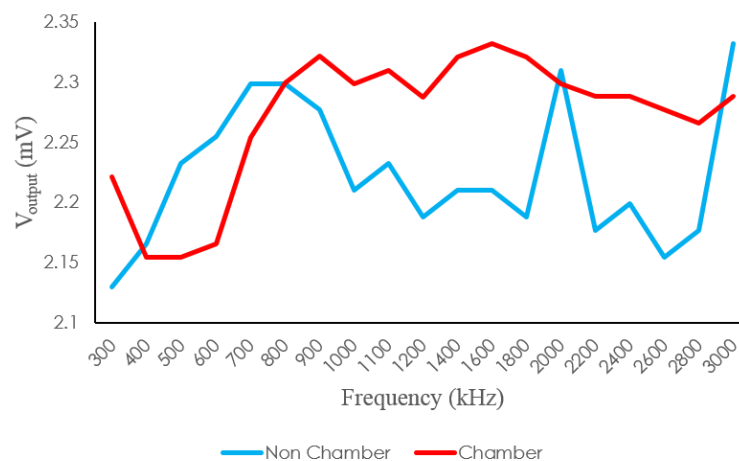
Gambar 4.2 Karakterisasi Sensor dengan Udara setiap Pasangan Elektroda

(a) 1-2 (b) 1-4 (c) 2-3 (d) 2-5 (e) 3-6 (f) 4-5 (g) 4-7 (h) 5-6 (i) 5-8 (j) 6-9 (k) 7-8
(l) 8-9

Pada gambar 4.2, nilai tegangan terukur yang diperoleh masing-masing pasangan elektroda paling rendah adalah 4 mV. Jika jarak antara elektroda semakin besar, maka densitas arus yang mengalir ke sensor semakin menurun. Apabila jarak

elektroda 2 kali dari semula atau jarak terdekatnya maka densitas arus yang akan mengalir yaitu $\frac{1}{4}$ dari terdekatnya (Andri, 2015).

Setiap pasangan elektroda terdekat seperti pada Gambar 4.2, terdapat nilai tegangan terukur yang hampir berbeda dibandingkan dengan pasangan elektroda terdekat lainnya yaitu pasangan elektroda (e) 3-6. Nilai tegangan terukur terendah yang diperoleh pada pasangan elektroda (e) untuk yang menggunakan *chamber* 12,8 mV dan tanpa *chamber* 12,3 mV. Hal ini terjadi karena pada pemasangan elektroda 3 dengan elektroda 6 jarak antara elektroda sangat berdekatan dibandingkan dengan elektroda yang lain. Oleh karena itu, sebagian pengukuran tegangan yang menggunakan *chamber* terdapat nilai yang fluktuatif seperti pada pasangan elektroda 5-6 dan 6-9. Pada pasangan elektroda (e) 3-6 yang terjadi karena nilai tegangan terukur yang diperoleh sangat berbeda dibandingkan dengan pasangan elektroda lainnya. Dengan mempertimbangkan fluktuasi pada pasangan elektroda 3-6, dibuat grafik untuk melihat seberapa pengaruhnya pasangan elektroda tersebut terhadap pasangan elektroda lainnya. Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 merupakan rata-rata nilai tegangan seluruh pasangan elektroda di setiap frekuensi.

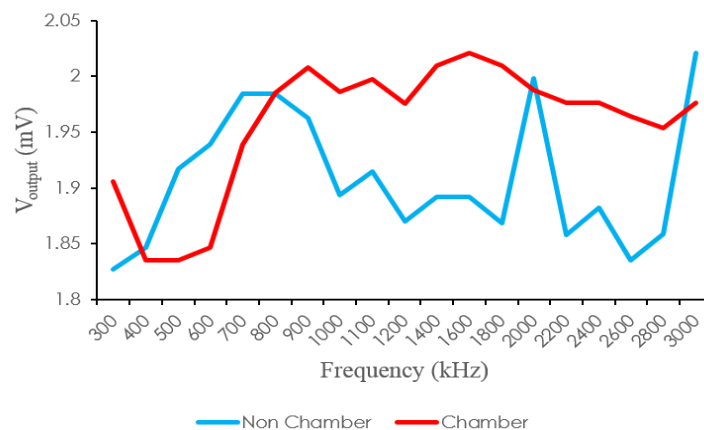


Gambar 4.3 Rata-rata Nilai Tegangan Seluruh Pasangan Elektroda di Setiap Frekuensi

Gambar 4.3, tegangan pada pengujian tanpa *chamber* di frekuensi 300 – 700 kHz mengalami kenaikan dari 2,13 mV menjadi 2,3 mV, lalu mengalami penurunan hingga frekuensi 1200 kHz menjadi 2,19 mV dan kenaikan tegangan lagi pada

frekuensi 2000 kHz dan 3000 kHz sebesar 2,31 mV dan 2,33 mV. Nilai tegangan yang menggunakan *chamber*, mengalami kenaikan signifikan pada frekuensi 600 – 900 kHz sebesar 2,17 mV menjadi 2,32 mV dan pada frekuensi 900 – 3000 kHz mengalami fluktuatif yang relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran sensor dengan rata-rata tegangan terukur yang dengan pasangan elektroda 3-6 menggunakan *chamber* lebih baik dibandingkan tanpa yang menggunakan *chamber* karena dapat mengurangi terjadinya *noise* seperti gangguan udara atau getaran pada meja kerja ketika melakukan pengukuran.

Selanjutnya dilakukan perbandingan rata-rata tegangan seluruh pasangan elektroda di setiap frekuensi tanpa pasangan elektroda 3-6. Nilai dari hasil pengukuran yang dilakukan tanpa menggunakan *chamber* menunjukkan bahwa pada frekuensi 300 – 700 kHz mengalami kenaikan tegangan dari 1,83 mV menjadi 1,96 mV, lalu tegangan mengalami penurunan hingga 1200 kHz menjadi sebesar 1,87 mV dan mengalami kenaikan kembali pada frekuensi 2000 kHz dan 3000 kHz sebesar 2 mV dan 2,02 mV. Untuk nilai tegangan rata-rata menggunakan *chamber* mengalami kenaikan yang signifikan di frekuensi 600 – 900 kHz sebesar 1,85 mV menjadi 2,01 mV, pada frekuensi 900 – 3000 kHz tegangan rata-rata mengalami fluktuatif yang relatif stabil. Nilai rata-rata tegangan seluruh pasangan elektroda di setiap frekuensi tanpa pasangan elektroda 3-6 dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rata-rata Nilai Tegangan Seluruh Pasangan Elektroda di Setiap Frekuensi Tanpa Pasangan Elektroda 3-6

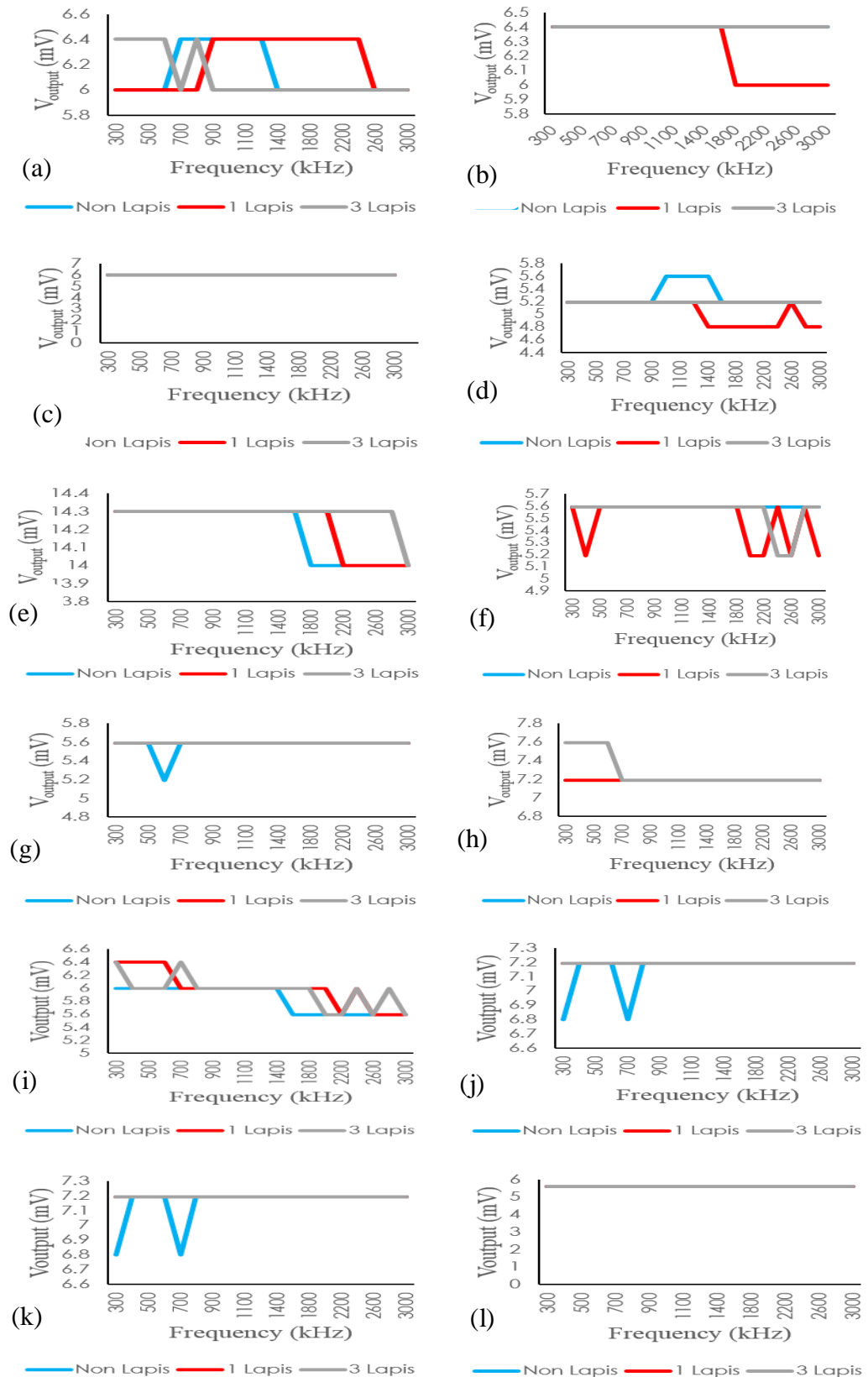
Dapat disimpulkan pada Gambar 4.3 dan 4.4 bahwa nilai rata-rata tegangan tanpa pasangan elektroda 3-6 dan dengan pasangan elektroda 3-6 memiliki *trendline* atau pergerakan grafik dalam suatu *frame* yang sama. Gambar 4.4 di frekuensi 300 kHz memiliki nilai tegangan untuk non chamber dan chamber sebesar 1,83 mV dan 1,91 mV dan pada frekuensi 3000 kHz sebesar 2,02 mV dan 1,98 mV.. Dari kedua gambar grafik tersebut percobaan yang dilakukan dengan menggunakan *chamber* menghasilkan nilai tegangan rata-rata yang tidak fluktuatif. Penggunaan *chamber* ini dilakukan untuk menghindari terjadinya *noise* atau gangguan-gangguan pada saat dilakukan pengukuran seperti udara, gangguan getaran pada meja, debu serta pencahayaan.

4.3 Uji Performa Sensor

Uji performa sensor dilakukan untuk mengetahui kinerja sensor yang telah dibuat dan digunakan. Adapun benda uji yang digunakan yaitu berupa akrilik dengan variasi tanpa lapisan, 1 lapisan dan 3 lapisan cat. Alat yang digunakan uji performa sensor yaitu osiloskop, generator fungsi serta VNA. Tegangan input untuk alat generator fungsi sebesar 20V, sedangkan frekuensi yang digunakan pada generator fungsi maupun VNA adalah 300 kHz – 3 MHz.

4.3.1 Karakterisasi Sensor dengan alat Osiloskop dan Generator Fungsi

Hasil nilai tegangan yang paling tinggi didapatkan dari masing-masing variasi berada pada pasangan elektroda 3-6 dengan nilai 14,3 mV. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa hasil uji performa sensor dari pasangan elektroda dengan beberapa variasi lapisan *coating* menghasilkan tegangan *output* terukur yang berbeda karena benda uji akrilik yang diberikan. Untuk variasi yang diberikan yaitu akrilik non lapis, 1 dan 3 lapis cat. Variasi lapisan cat sangat mempengaruhi hasil dari pengukuran sensor yang dilakukan. Hasil yang diperoleh pada pengukuran mendapatkan nilai tegangan lebih besar dibandingkan pada saat pengukuran tegangan sensor dengan udara. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik hasil pengukuran yang didapatkan untuk setiap pasangan elektroda pada gambar 4.5.

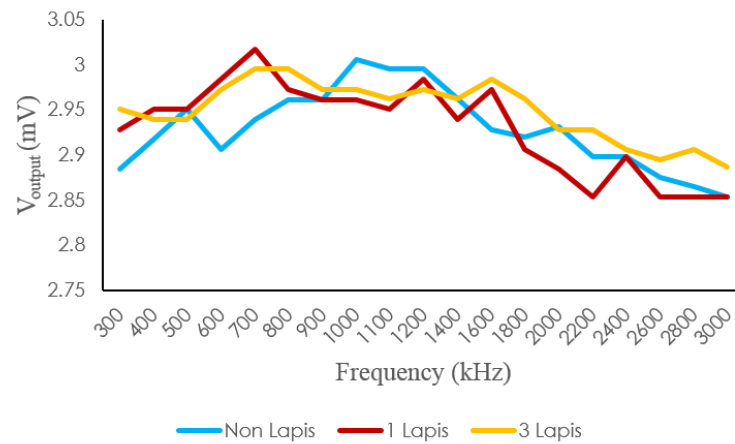


Gambar 4.5 Nilai karakterisasi tiap variasi untuk pasangan elektroda (a) 1-2 (b) 1-4 (c) 2-3 (d) 2-5 (e) 3-6 (f) 4-5 (g) 4-7 (h) 5-6 (i) 5-8 (j) 6-9 (k) 7-8 (l) 8-9

Tabel 4.1 Tegangan terukur pasangan elektroda seluruh variasi lapisan cat

Pasangan Elektroda	Tegangan terukur (mV)
(a)1-2	6 – 6,4
(b)1-4	6 – 6,4
(c)2-3	6
(d)2-5	4,8 – 5,6
(e)3-6	14 – 14,3
(f)4-5	5,2 – 5,6
(g)4-7	5,2 – 5,6
(h)5-6	7,2 – 7,6
(i)5-8	5,6 – 6,4
(j)6-9	7,6 – 8
(k)7-8	6,8 – 7,2
(l)8-9	5,6

Pada hasil pengukuran tegangan sensor dengan variasi *coating* yang diberikan dari setiap pasangan elektroda terdapat beberapa nilai tegangan dari pasangan elektroda yang mengalami penurunan seiring dengan bertambah nilai frekuensi yang diberikan. Hal tersebut sesuai dengan literatur bahwa frekuensi berbanding terbalik dengan nilai kapasitansi sedangkan kapasitansi berbanding lurus dengan tegangan (Sidi, Pahlanop and Arman, 2020). Adapun nilai tegangan dari setiap variasi yang dilakukan, pada variasi 3 lapisan cat menghasilkan nilai rata-rata tegangan terukur paling besar. Hal tersebut diasumsikan karena penambahan jumlah lapisan cat yang akan meningkatkan nilai tegangan pada ketebalan benda uji. Adapun untuk nilai rata-rata tegangan dari seluruh pasangan elektroda dengan variasi yang diberikan dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Rata-rata Nilai Tegangan Seluruh Pasangan Elektroda di Setiap Frekuensi dengan Variasi *Coating*

Pada Gambar 4.6 menunjukkan perubahan nilai rata-rata tegangan, untuk frekuensi 300 – 1200 kHz dari setiap variasi *coating* nilai rata-rata tegangan mengalami kenaikan, setelah melewati frekuensi 1200 kHz nilai rata-rata tegangan seluruh pasangan elektroda mengalami penurunan nilai tegangan. Dapat dilihat juga untuk variasi 1 lapis dengan 3 lapis pada frekuensi 800 – 1100 kHz nilai rata-rata tegangan relatif stabil tidak mengalami fluktuatif.

4.3.2 Karakterisasi Sensor dengan Alat *Vector Network Analyzer* (VNA)

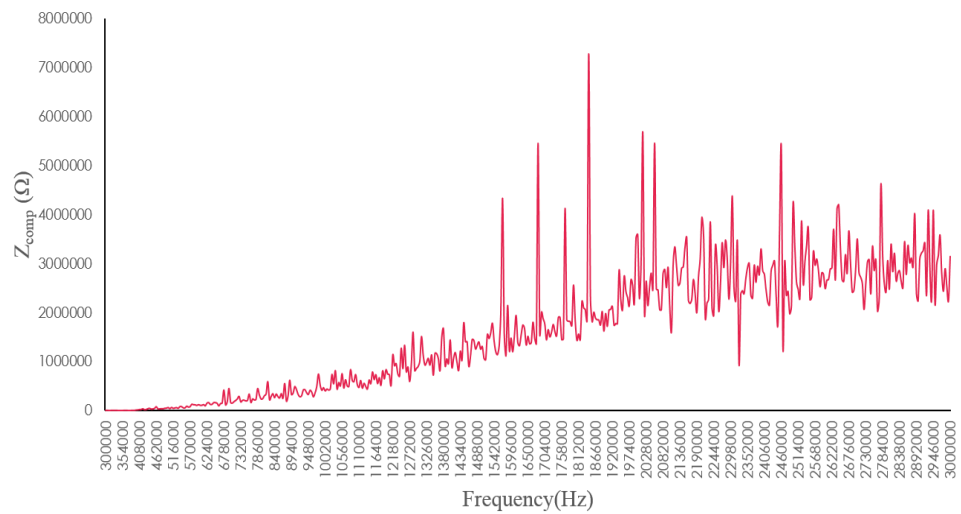
Setelah mendapatkan nilai kapasitansi dari setiap masing-masing pasangan elektroda untuk setiap variasi, lalu nilai kapasitansi tersebut dimasukkan ke dalam *script Google Collab* untuk mendapatkan hasil grafik dari pengukuran menggunakan VNA. Pengolahan data VNA untuk mendapatkan nilai kapasitansi dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai S21. S21 merupakan rasio daya yang keluar dari *port 2* dan daya yang masuk ke *port 1* atau sumber dari perangkat dua port. Rumus untuk perhitungan S21:

$$10^{\left(\frac{\text{Log Magnitude}}{20}\right)} \dots\dots\dots(4.1)$$

Selanjutnya, pengolahan data VNA untuk mendapatkan kapasitansi dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai impedansi kompleks dengan rumus :

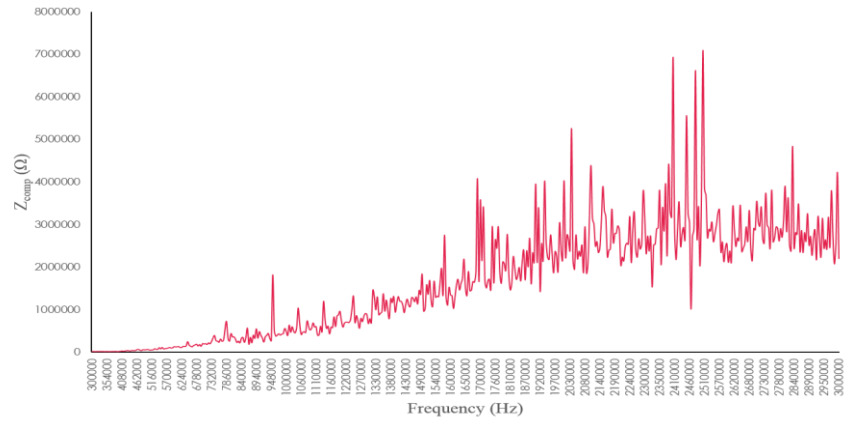
$$Z_{comp} = (100 \times \left(\frac{1-S_{21}}{S_{21}} \right)) \dots\dots\dots(4.2)$$

Perhitungan untuk mencari nilai impedansi kompleks dilakukan untuk seluruh pasangan elektroda di setiap variasi yang berikan. Hasil perhitungan nilai impedansi kompleks terhadap frekuensi ditampilkan pada Gambar 4.7.

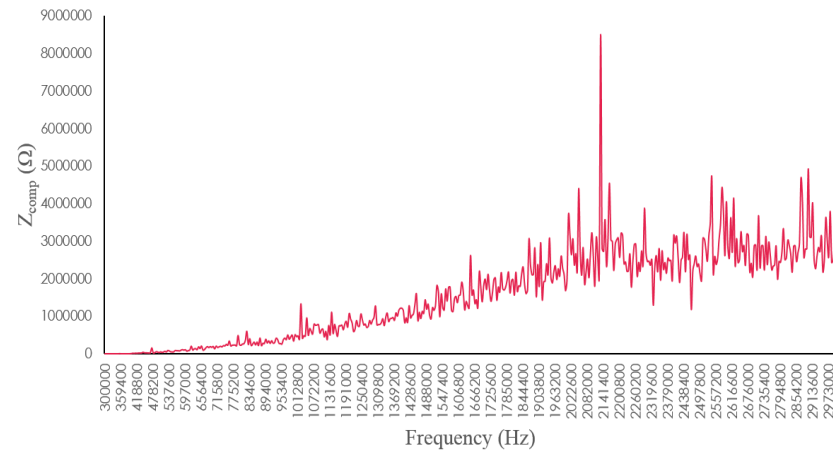


Gambar 4.7 Grafik Impedansi kompleks terhadap Frekuensi (udara)

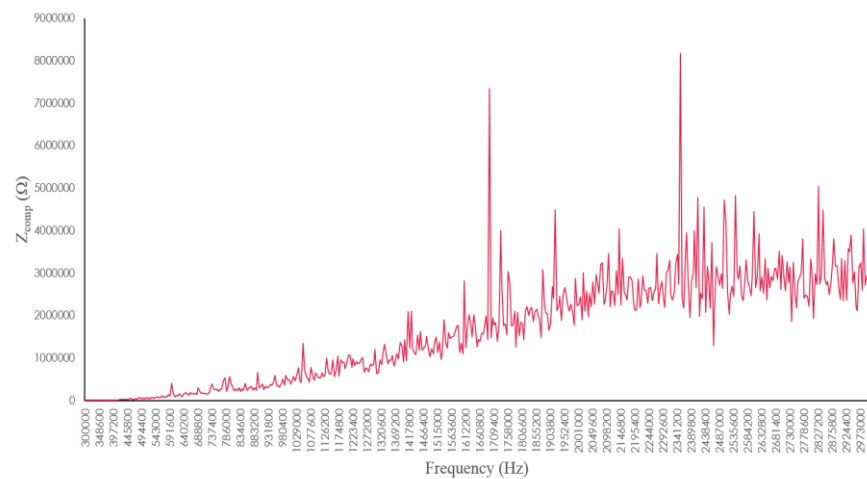
Gambar 4.7 menunjukkan nilai impedansi kompleks dari rata-rata nilai seluruh pasangan elektroda di setiap frekuensi (300 kHz hingga 3 MHz). Pada frekuensi 300 kHz hingga 2 MHz mengalami kenaikan nilai impedansi. Pada frekuensi 2,1 MHz nilai impedansi mulai stabil, hingga frekuensi 3 MHz relatif stabil. Impedansi disebut juga resistansi atau hambatan yang dipengaruhi oleh adanya perbedaan tegangan dan fasa. Nilai impedansi kompleks menunjukkan adanya stabilitas yang dihasilkan. Grafik impedansi kompleks untuk variasi non lapis, 1 dan 3 lapis *coating* mengalami hal serupa yaitu setelah frekuensi 2 MHz nilai impedansi kompleks relatif stabil. Grafik impedansi kompleks setiap variasi *coating* dapat dilihat pada Gambar 4.8 hingga 4.10.



Gambar 4.8 Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi untuk Sampel Akrilik Tanpa Lapisan Cat



Gambar 4.9 Grafik Impedansi Kompleks terhadap Frekuensi untuk Sampel Akrilik 1 Lapisan Cat

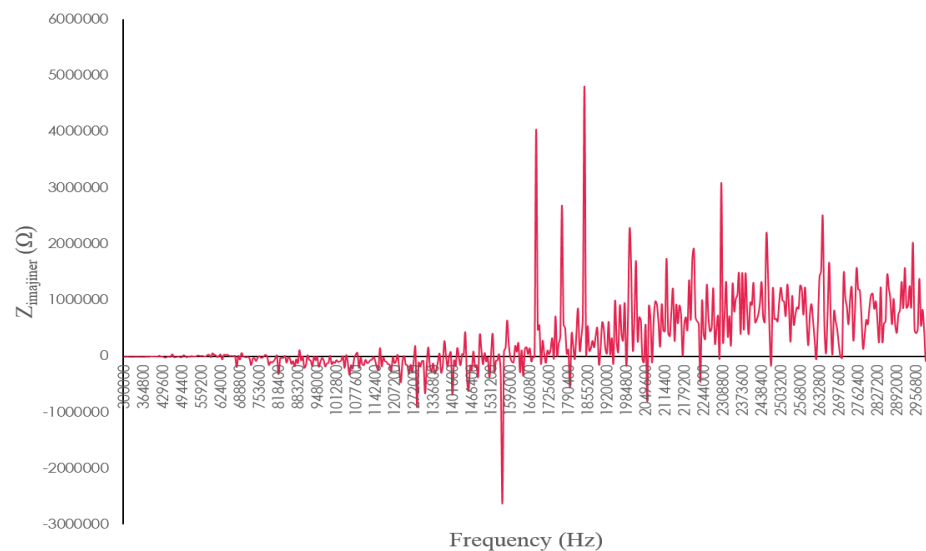


Gambar 4.10 Grafik Impedansi kompleks terhadap Frekuensi untuk Sampel Akrilik 3 Lapisan Cat

Impedansi imajiner merupakan suatu besaran fisika yang bertujuan untuk menyimpan energi. Impedansi imajiner lebih sering dijumpai untuk jenis sensor kapasitif. Untuk mendapatkan nilai kapasitansi pada pengolahan data VNA, perlu digunakan rumus terlebih dahulu untuk mencari nilai impedansi imajiner. Rumus:

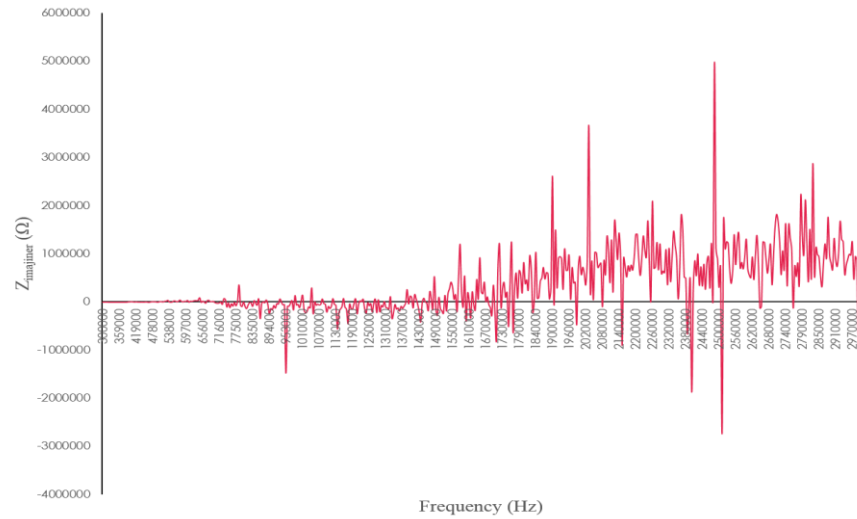
$$Z_{Imaj} = Z_{Comp} \times \sin(\text{Radians}(\text{phase})) \dots\dots\dots(4.3)$$

Perhitungan nilai impedansi imajiner dilakukan seluruh pasangan elektroda dengan setiap variasi yang diberikan. Grafik antara impedansi imajiner terhadap fungsi frekuensi menggambar nilai penyimpanan energi listrik dalam muatan-muatan listrik dan kemudian ditangkap oleh permukaan dari masing-masing elektroda. Gambar 4.11 merupakan nilai impedansi imajiner rata-rata seluruh pasangan elektroda di setiap frekuensi.

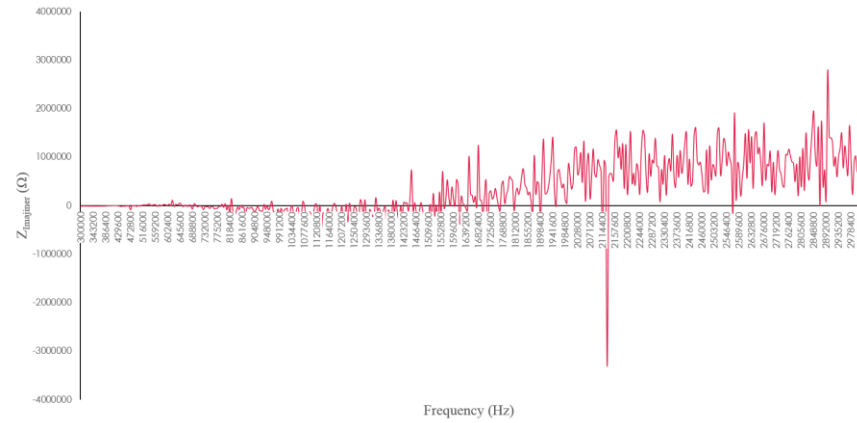


Gambar 4.11 Grafik Impedansi imajiner terhadap Frekuensi (udara)

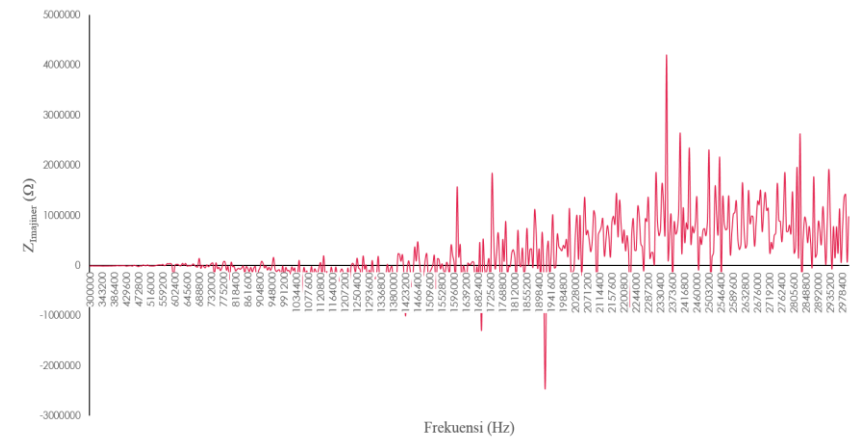
Gambar 4.11 merupakan nilai impedansi imajiner rata-rata dari seluruh pasangan elektroda terhadap frekuensi. Pada grafik tersebut bahwa nilai impedansi paling rendah berada pada frekuensi 1,569 MHz sebesar $-2,6 \times 10^6 \Omega$ dan nilai impedansi paling besar pada frekuensi 1,844 MHz sebesar $4,8 \times 10^6 \Omega$. Untuk nilai impedansi imajiner di setiap variasi dapat dilihat pada Gambar 4.12 hingga Gambar 4.14.



Gambar 4.12 Grafik Impedansi Imajiner terhadap Frekuensi untuk Sampel Akrilik Tanpa Lapisan Cat



Gambar 4.13 Grafik Impedansi Imajiner terhadap Frekuensi untuk Sampel Akrilik 1 Lapisan Cat



Gambar 4.14 Grafik Impedansi Imajiner terhadap Frekuensi untuk 3 Lapisan Cat

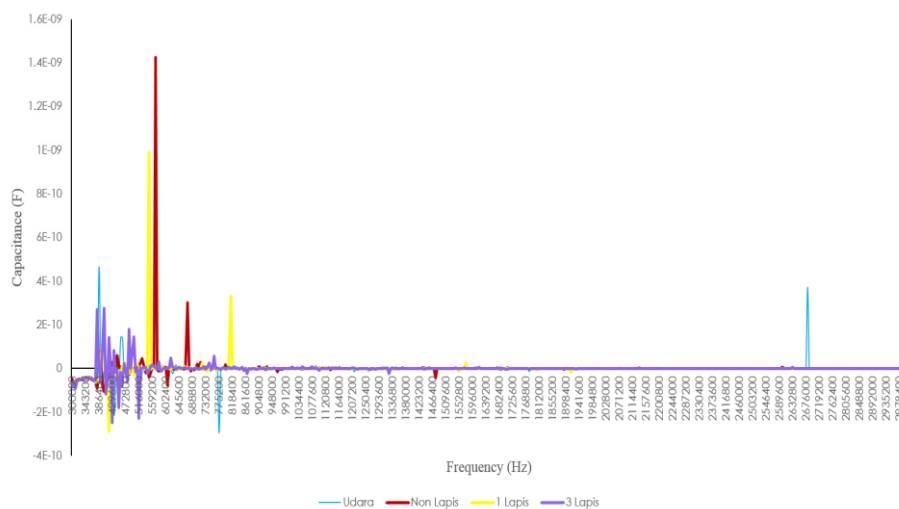
4.2 Tabel Nilai Impedansi Imajiner setiap variasi lapisan cat

Impedansi Imajiner	Frekuensi (MHz)		Ohm (Ω)	
	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi
Udara	1,57	1,84	$-2,6 \times 10^6$	$4,8 \times 10^6$
Tanpa Lapisan Cat	2,51	2,48	$-2,7 \times 10^6$	$4,8 \times 10^6$
1 Lapisan Cat	2,13	2,89	$-3,3 \times 10^6$	$2,77 \times 10^6$
3 Lapisan Cat	1,92	2,35	$-2,5 \times 10^6$	$4,2 \times 10^6 \Omega$

Dari gambar grafik 4.11 hingga 4.14 menunjukkan bahwa impedansi imajiner memiliki perubahan nilai yang menunjukkan kestabilan. Setelah mendapatkan nilai impedansi kompleks dan imajiner, dapat diperoleh nilai kapasitansi dengan menghitung menggunakan rumus :

$$C = \frac{1}{(2 \times 3,14 \times \text{Frekuensi} \times \text{Zimaginer})} \dots\dots\dots(4.4)$$

Penghitungan nilai kapasitansi juga dilakukan pada seluruh pasangan elektroda dan di setiap variasi. Konsep pengukuran utama menggunakan alat VNA untuk mendapatkan nilai kapasitansi sensor berdasarkan jarak, bahan dielektrik dan luas permukaan. Grafik nilai kapasitansi dari setiap variasi dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Nilai Kapasitansi terhadap Frekuensi untuk Setiap Variasi



Gambar 4.16 Kapasitansi terhadap Seluruh Pasangan Elektroda

Dapat dilihat pada Gambar 4.16 bahwa karakteristik sinyal pada frekuensi 2,1 MHz bahwa nilai kapasitansi paling besar, yaitu berada pada nilai 8 pF di ketebalan *coating* 2,56 mm. Rumus untuk mencari nilai ketebalan dengan menghubungkan nilai kapasitansi yaitu:

$$d = \frac{e \times e^0 \times A}{C} \dots\dots\dots(4.5)$$

e : Konstanta dielektrik (udara = 1)

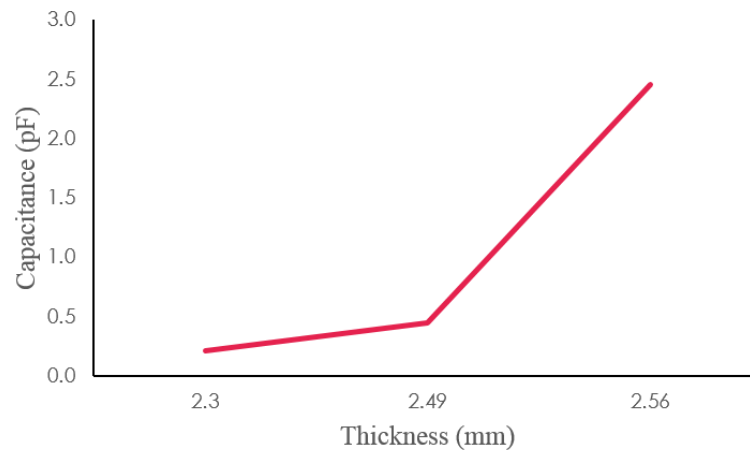
e^0 : Permitivitas ruang hampa = $8,854 \times 10^{-12}$ (F/m)

A : Luas penampang (m^2) = 0,6 m x 0,6 m

C : Kapasitansi (Farad)

Tabel 4.3 Nilai Permitivitas Material

Jenis Bahan/Material	Konstanta (k)
Akrilik (<i>fiberglass</i>)	2,7 – 4,5
Udara	1
Ruang Hampa	$8,854 \times 10^{-12}$ (F/m)
Polyurethane	4



Gambar 4.17 Nilai Kapasitansi sensor terhadap Ketebalan objek pada Frekuensi 2,1 MHz

Pada Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa untuk grafik yang tertera pada frekuensi 2103,6 kHz melalui pencarian data akrilik bahwa pada kolom 334 nilai frekuensi yang dihasilkan yaitu 2103,6 kHz. Nilai sensor merupakan nilai rata-rata dari pengukuran semua pasangan elektroda pada frekuensi tertentu. Adapun untuk nilai pada ketebalan 2,30 mm (non lapis) memiliki nilai kapasitansi 0,2 pF, adapun untuk ketebalan 2,49 mm (1 lapis) memiliki nilai kapasitansi 0,4 pF dan 2,56 mm (3 lapis) memiliki nilai kapasitansi sebesar 2,5 pF. Pembagian dari setiap frekuensi yang dilakukan dari 300 – 3000 kHz maka frekuensi dengan nilai kapasitansi sesuai kriteria terdapat pada frekuensi 2103,6 kHz. Perbandingan pengukuran nilai ketebalan secara perhitungan langsung menggunakan mikrometer sekrup dan secara pengolahan data VNA dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Ketebalan Akrilik

Jenis Sampel	Pengukuran (mm)	Pengolahan VNA (mm)
Non Lapis	2,19	2,30
1 Lapis	2,30	2,49
3 Lapis	2,39	2,56

Pada Tabel 4.4 nilai ketebalan akrilik yang diperoleh dengan pengukuran mikrometer sekrup berdasarkan pada akrilik yang telah divariasikan. Pada

variasi akrilik tanpa lapisan pengukuran yang diperoleh yaitu 2,19 mm karena sampel yang digunakan tanpa adanya lapisan cat pada akrilik tersebut. Untuk variasi 1 lapisan cat diperoleh pengukuran sebesar 2,30 mm atau bertambah 0,11 mm, ukuran ketebalan bertambah karena adanya 1 lapisan cat pada sampel. Pada variasi 3 lapisan cat diperoleh pengukuran sebesar 2,39 mm atau bertambah 0,20 mm dari akrilik tanpa lapisan cat, ketebalan ini bertambah karena akrilik dilakukan 3 kali penambahan lapisan cat. Jika membandingkan nilai ketebalan pada pengukuran menggunakan mikrometer sekrup dengan hasil pengukuran pengolahan data VNA, untuk setiap nilai benda uji yang di variasi lapisan cat yaitu untuk akrilik tanpa lapisan berbeda 0,21 mm, lalu 1 lapisan cat berbeda 0,19 mm dan ketebalan 3 lapisan cat berbeda 0,17 mm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sensor kapasitif mampu mengukur besaran tegangan berdasarkan hasil karakterisasi sensor, nilai tegangan rata-rata di setiap frekuensi yang digambarkan pada grafik menghasilkan *trendline* yang sama pada pengukuran yang dilakukan dengan seluruh pasangan elektroda dan tanpa pasangan elektroda 3-6 menggunakan *chamber* dan tanpa *chamber*, pada penggunaan *chamber* nilai tegangan rata-rata tidak mengalami fluktuatif.
2. Uji performa sensor dengan menggunakan VNA, pengukuran dilakukan dengan berbagai variasi lapisan cat dapat membedakan dan mendeteksi perubahan nilai kapasitansi. Ketebalan untuk akrilik tanpa lapisan yaitu 2,30 mm, 1 lapisan 2,49 mm dan 3 lapisan cat 2,56 mm.
3. Pengukuran menggunakan mikrometer sekrup diperoleh untuk akrilik tanpa lapisan yaitu 2,19 mm, 1 lapisan 2,30 mm dan 3 lapisan cat 2,39 mm. Perbandingan nilai ketebalan lapisan pada pengolahan data VNA dengan hasil pengukuran menggunakan mikrometer sekrup yaitu untuk akrilik tanpa lapisan 0,11 mm, 1 lapis 0,19 mm dan 3 lapis 0,17mm.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, tentunya terdapat evaluasi untuk mengembangkan penelitian ini lebih lanjut. Berikut ini adalah saran yang dapat dilakukan kedepannya yaitu:

1. Ukuran desain sensor diperkecil.
2. Desain *chamber* disesuaikan dengan memerhatikan ukuran sensor yang digunakan serta penutup lapisan untuk *chamber* lebih rapat.

DAFTAR PUSTAKA

Andri, G. 2015. 'Kajian Tentang Perlakuan Jarak Antar Elektroda Tembaga Terhadap Kinerja Sensor Konduktivitas Listrik Tanah Tipe Kapasitif', *beta (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, [.http://103.28.220.26/index.php?ref=browse&mod=viewarticle&article=366152](http://103.28.220.26/index.php?ref=browse&mod=viewarticle&article=366152).

Bachmid, A., Poekoel, V. and Wuwung, J. 2017. 'Osiloskop Portable Digital Berbasis AVR ATmega644', *E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer*, 6(1), pp. 15–26.

Bernieri, A. *et al.* 2018. 'Ultrasonic NDT on aluminum bars: An experimental performance comparison of excitation and processing techniques', *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 128, pp. 393–402. doi:10.1016/j.measurement.2017.10.040.

Fontana, M, G. 1987. Corosion Engineering, McGraw-Hill book co-Singapore www.iranidata.com.

Kristianto, H. 2013. 'Dengan Variasi Frekuensi dan Ukuran Kristal. Surabaya: ITS. Hal, 116–120.

Labun, J. *et al.* 2020. 'A simple high-precision 2-port vector analyzer', *IEEE Access*, 8, pp. 196609–196617. doi:10.1109/ACCESS.2020.3034536.

Reza Zekavat. 2013. *Electrical Engineering : Concepts and Applications*. Boston: Pearson.

Shoaib, N. 2017. 'Vector Network Analyzer (VNA) Measurements and Uncertainty Assessment. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-44772-8>.

Sidi, M., Pahlanop, B. and Arman, Y. 2020. 'Perbandingan Kapasitansi dari Beberapa Jenis Bahan Menggunakan Kapasitor Silinder', 8(2), pp. 128–134. Temapela (2019) 'Jurnal'.

Terzic. 2012. *Approach to Fluid Quantity Measurement in Dynamic Environments*. London: British Library.

<https://www.testindo.com/article/267/jenis-jenis-ndt-nondestructive-test>.

LAMPIRAN A
CONTOH PERHITUNGAN

A.1 Perhitungan S21

$$S21 = 10^{\log \text{mag}/20} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$S21 = 10^{(B2/20)}$$

A.2 Perhitungan Z Comp

$$Z \text{ Comp} = 100 \times ((1-S21)/S21) \dots\dots\dots (A.2)$$

$$Z \text{ Comp} = 100 \times ((1-D2)/D2)$$

A3 Perhitungan Z Imaginer

$$Z \text{ Imaginer} = Z \text{ Comp} \times \text{SIN}(\text{Radians (Phase)}) \dots\dots\dots (A.3)$$

$$Z \text{ Imaginer} = E2 \times \text{SIN}(\text{RADIANS}(C2))$$

A.4 Perhitungan Kapasitansi

$$C = 1 / (2 \times 3,14 \times \text{Frekuensi} \times Z \text{ Imaginer}) \dots\dots\dots (A.4)$$

$$C = 1 / (2 \times 3.14 \times A2 \times F2)$$

v57	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v58	6	6	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59
v59	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
v67	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0.4	0.4	0	0
v68	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
v69	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7.59
v78	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19
v79	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v89	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59

Tabel B.4 Data Osiloskop Akrilik 1 Lapisan Coating

Freq (kHz)	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
v12	6	6	6	6	6	6	6.4	6.4	6.4
v13	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8
v14	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
v15	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
v16	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4	0.4
v17	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0.4	0.4	0.4
v18	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	0.4
v19	0	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v23	6	6	6	6	6	6	6	6	6
v24	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.2	1.6	1.6
v25	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19
v26	1.2	1.6	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v27	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0
v28	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v29	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v34	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v35	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v36	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
v37	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	0	0
v38	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0
v39	0.4	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v45	5.59	5.19	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59
v46	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.4	0.8	0.4
v47	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59
v48	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.2	1.6	1.6	1.6
v49	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	0	0
v56	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19
v57	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v58	6.4	6.4	6.4	6.4	6	6	6	6	6
v59	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19
v67	0	0	0	0.4	0.4	0	0.4	0	0
v68	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v69	8	8	8	8	8	8	8	8	8
v78	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19
v79	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v89	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59

Freq (kHz)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
v12	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6	6	6
v13	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
v14	6.4	6.4	6.4	6	6	6	6	6	6	6
v15	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
v16	0.4	0.4	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v17	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0

v49	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0
v56	7.59	7.59	7.59	7.59	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19
v57	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v58	6.4	6	6	6	6.4	6	6	6	6
v59	7.19	7.19	7.19	7.19	6.8	6.8	6.8	7.19	6.8
v67	0	0	0	0.4	0.4	0	0	0	0
v68	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v69	8	8	8	8	8	8	8	8	8
v78	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19
v79	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v89	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59

Freq (kHz)	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
v12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
v13	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
v14	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
v15	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8
v16	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v17	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v18	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v19	0.4	0.4	0	0	0	0.4	0	0	0	0
v23	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
v24	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6
v25	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19
v26	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v27	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	0	0	0
v28	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v29	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v34	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v35	1.6	1.6	1.6	1.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
v36	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14
v37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v38	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v39	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
v45	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.19	5.19	5.59	5.59
v46	0.8	0.4	0.8	0.4	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4	0.4
v47	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59
v48	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.2	1.2	1.2
v49	0	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	0	0
v56	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19
v57	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v58	6	6	6	6	5.59	5.59	6	5.59	6	5.59
v59	6.8	6.8	7.19	6.8	6.8	6.8	6.8	7.19	6.8	6.8
v67	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	0.4	0.4	0.4
v68	1.6	1.6	1.6	1.6	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
v69	8	8	8	8	8	8	7.59	8	7.59	7.59
v78	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19
v79	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
v89	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59

Catatan : Nilai tegangan terukur pada data osiloskop dengan satuan (mV)

Script Colab untuk pengukuran sensor menggunakan alat *Vector Network Analyzer* (VNA):

Import library yang diperlukan

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

Load data dari excel. Hapus kolom pertama

```
df_uda = pd.read_excel('udara_c_par.xlsx')
df_uda.drop("Frequency",axis=1, inplace=True)

df_ak = pd.read_excel('akrilik1_c_par.xlsx')
df_ak.drop("Frequency",axis=1, inplace=True)

df_c1 = pd.read_excel('cat1_c_par.xlsx')
df_c1.drop("Frequency",axis=1, inplace=True)

df_c3 = pd.read_excel('cat3_c_par.xlsx')
df_c3.drop("Frequency",axis=1, inplace=True)
```

Frekuensi dan Indeks

```
frequency = df_uda.columns
freq = np.array(df_uda.columns.astype(float))
```

Plot Data. Sumbu-x Indeks pasangan elektroda, Sumbu-y adalah nilai pengukuran

```
f = 15

fig, ax1 = plt.subplots()

ax1.plot(df_uda.iloc[:,f], alpha =0.5)
ax1.plot(df_ak.iloc[:,f], alpha =0.5)
ax1.plot(df_c1.iloc[:,f], alpha =0.5)
ax1.plot(df_c3.iloc[:,f], alpha =0.5)

ax1.legend(['Udara', 't = 2,302 mm', 't = 2,486 mm', 't = 2,55
7 mm'])
ax1.set_title('Karakteristik sinyal pada f=' +str(frequency[f]
)+ 'Hz')
ax1.set_xlabel('Index pasangan elektroda')
ax1.set_ylabel('Kapasitansi (F)')
```

Plot Data. Sumbu-x adalah seluruh kolom (frekuensi), Sumbu-y adalah baris ke-p (indeks pasangan pengukuran)

```
fig, ax1 = plt.subplots()
p=0

ax1.plot(freq, df_uda.iloc[p,:], alpha =0.5)
ax1.plot(freq, df_ak.iloc[p,:], alpha =0.5)
ax1.plot(freq, df_c1.iloc[p,:], alpha =0.5)
ax1.plot(freq, df_c3.iloc[p,:], alpha =0.5)

#ax1.set_ylim([-1e-6,2.3e-5])
ax1.legend(['Udara', 't = 2,302 mm', 't = 2,486 mm', 't = 2,557 mm'])
ax1.set_xscale('log')
ax1.set_title('Karakteristik sinyal elektroda 1-2')
ax1.set_xlabel('Frekuensi (Hz)')
ax1.set_ylabel('Kapasitansi (F)')
```

```
fig, ax1 = plt.subplots()
p=1

ax1.plot(freq, df_uda.iloc[p,:], alpha =0.5)
ax1.plot(freq, df_ak.iloc[p,:], alpha =0.5)
ax1.plot(freq, df_c1.iloc[p,:], alpha =0.5)
ax1.plot(freq, df_c3.iloc[p,:], alpha =0.5)

#ax1.set_ylim([-1e-6,2.3e-5])
ax1.legend(['Udara', 't = 2,302 mm', 't = 2,486 mm', 't = 2,557 mm'])
ax1.set_xscale('log')
ax1.set_title('Karakteristik sinyal elektroda 1-3')
ax1.set_xlabel('Frekuensi (Hz)')
ax1.set_ylabel('Kapasitansi (F)')
```

Delta, rentang nilai (absolut) antara data c3 dan data ak

```
ak = np.array(df_ak)
c3 = np.array(df_c3)
delta = np.abs(ak - c3)
```

Plot Delta.Sumbu-x adalah seluruh kolom (frekuensi), Sumbu-y adalah nilai delta pada baris ke-n (indeks pasangan pengukuran)

```
fig, ax1 = plt.subplots()
```

```

ax1.plot(freq, delta[0,:], c='b', alpha=0.5)
ax1.plot(freq, delta[1,:], c='r', alpha=0.5)

# ax1.set_ylim([-1e-6,2.3e-5])
ax1.legend(['Elektroda 1-2', 'Elektroda 1-3'])
ax1.set_xscale('log')
ax1.set_title('Delta akrilik1 dan cat3')
ax1.set_xlabel('Frekuensi (Hz)')
ax1.set_ylabel('Kapasitansi (F)')

```

Cek nilai frekuensi pada kolom tertentu

```

display(df_ak.columns[15])
display(df_ak.columns[28])

```

Plot hubungan nilai sensor terhadap ketebalan objek. Nilai sensor dengan objek ak, c1 dan c3; dibandingkan dengan ketebalan ak, c1 dan c3

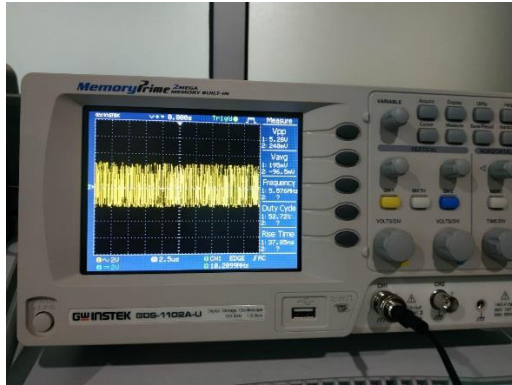
```

#Pada frekuensi ~381 kHz
fre = 15
data_mean = [np.array(df_ak).mean(axis=0)[fre], np.array(df_c1)
).mean(axis=0)[fre], np.array(df_c3).mean(axis=0)[fre]]
data_tebal = [2.302, 2.486, 2.557]
fig, ax1 = plt.subplots()
ax1.plot(data_tebal,data_mean, 'b-s')
ax1.set_xlabel('Tebal (mm)')
ax1.set_ylabel('Kapasitansi (F)')
ax1.set_title('Pada Frekuensi '+str(frequency[fre])+'Hz')

#Pada frekuensi ~451 kHz
fre = 28
data_mean = [np.array(df_ak).mean(axis=0)[fre], np.array(df_c1)
).mean(axis=0)[fre], np.array(df_c3).mean(axis=0)[fre]]
data_tebal = [2.302, 2.486, 2.557]
fig, ax1 = plt.subplots()
ax1.plot(data_tebal,data_mean, 'b-s')
ax1.set_xlabel('Tebal (mm)')
ax1.set_ylabel('Kapasitansi (F)')
ax1.set_title('Pada Frekuensi '+str(frequency[fre])+'Hz')

```

LAMPIRAN C
GAMBAR ALAT DAN BAHAN



Gambar C.1 Osiloskop



Gambar C.2 Generator Fungsi



Gambar C.3 Vector Network Analyzer



Gambar C.4 Kit Kalibrasi



Gambar C.5 Sensor ECVT 9 Channel



Gambar C.6 Kabel Konektor



Gambar C.7 Chamber



Gambar C.8 Akrilik



Gambar C.9 Cat



Gambar C.10 Probe Kalibrasi