

Pengukuran Impedansi Material Kayu Menggunakan Impedance-To-Digital Converter

Rocky Alfanz¹, Imamul Muttakin¹, Muhamad Fauzi¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 01 Juni 2022

Direvisi : 08 Juni 2022

Disetujui : 20 Juni 2022

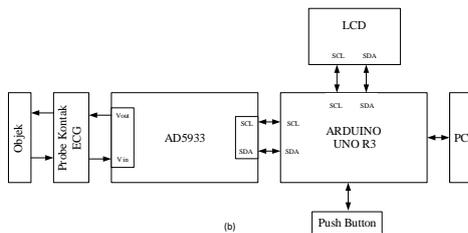
doi:10.36055/setrum.v11i1.15862

*Korespondensi Penulis :
3332170018@untirta.ac.id

Graphical abstract



(a)



(b)

Abstract

Impedance measurement is a non-invasive measurement method. The purpose of this research is to test the impedance measurement instrument as well as the magnitude impedance response of the wood material in order to identify the quality of the wood based on water, oil content and defect condition. The impedance measurement method used is based on AD5933 which is controlled using Arduino Uno. Impedance measurements are performed with 100 sweeping points at a frequency of 1kHz-100kHz. The measurement results were analyzed in the form of magnitude impedance response and impedance phase response to frequency. Initial testing of the system on the resistor in measurement 1 states that the measurement results are within the tolerance range (5%), measurement 2 states that the contribution of the increase in the resistor value to the impedance response at a frequency of 1 kHz is 12.45%, a frequency of 10 kHz is 99.91% and 100kHz frequency is 97.4%. The representation of the impedance response (Z) on the wood material shows Z dry wood > Z moist eucalyptus oil > Z moist cedar wood oil > Z moist agarwood oil > Z moist cinnamon oil > Z moist in water and for Z moist wood > Z wood congested. The representation of the resultant phase response (θ) is inversely proportional to the representation of the impedance response. The AD5933 impedance meter can measure impedance well and can distinguish the quality or condition of wood based on the impedance response to frequency. This research is useful and can be applied to determine the quality of wood materials based on water, oil content and defect condition.

Keywords: Impedance, AD5933, Wood, Arduino, ECG

Abstrak

Pengukuran impedansi merupakan metode pengukuran yang bersifat non-invasif. Penelitian ini bertujuan menguji alat ukur impedansi serta mempelajari respons magnitudo impedansi pada material kayu untuk mengetahui kualitas kayu berdasarkan kondisi kandungan air, air. Metode pengukuran impedansi yang digunakan berbasis AD5933 yang dikontrol menggunakan arduino uno. Pengukuran dilakukan dengan 100 titik penyisiran pada frekuensi 1 kHz-100 kHz. Hasil pengukuran yang dianalisis, berupa respons magnitudo impedansi serta respons fasanya terhadap frekuensi. Pengujian awal sistem terhadap resistor pada pengukuran 1 menyatakan hasil pengukuran berada dalam rentang toleransi toleransi (5%), pengukuran 2 menyatakan kontribusi kenaikan nilai resistor terhadap respons impedansi pada frekuensi 1 kHz sebesar 12,45%, frekuensi 10 kHz sebesar 99,91% dan frekuensi 100kHz sebesar 97,4%. Representasi hasil respons impedansi (Z) pada material kayu menunjukkan Z kayu kering > Z lembap minyak kayu putih > Z lembap minyak kayu cedar > Z lembap minyak kayu gaharu > Z lembap minyak kayu manis > Z lembap air dan untuk Z kayu berlubang > Z kayu padat. Representasi hasil respons fasa (θ) berbanding terbalik dengan representasi respons impedansinya. Alat ukur impedansi AD5933 dapat mengukur impedansi dengan baik dan dapat membedakan kualitas atau kondisi kayu berdasarkan respons impedansi terhadap frekuensi. Penelitian ini bermanfaat dan dapat diaplikasikan untuk mengetahui kualitas material kayu berdasarkan kandungan air, minyak serta kondisi cacat.

Kata Kunci: Impedansi, AD5933, Kayu, Arduino, ECG

© 2022 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang terus-menerus semakin meningkat terutama dalam bidang pengukuran listrik yang terus dikembangkan dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang industri, bahkan sampai bidang medis sekali pun. Metode pengukuran listrik yang populer, yaitu metode pengukuran impedansi. Metode pengukuran impedansi populer karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah sederhana, murah dan juga bersifat *noninvasive* sehingga tidak akan merusak objek yang digunakan sebagai bahan pengukuran [1]–[3]. Dengan kelebihan-kelebihan yang dimiliki tersebut metode ini banyak dikembangkan dalam banyak keperluan seperti deteksi cacat pada bahan, kontrol kualitas, peralatan medis, analisis aliran fluida [3]–[9].

Probe kontak adalah salah satu sensor yang dapat digunakan dalam pengukuran impedansi. Salah satu jenis probe kontak yang teruji efektif adalah elektrode (Electrocardiogram) ECG, yang banyak digunakan dalam dunia medis dalam proses pengecekan dan monitoring pada keadaan fungsional dari organ tubuh [9]–[11]. Nilai impedansi tergantung dari jaringan yang dianalisis. Pengukuran impedansi membutuhkan alat ukur yang dinamakan *impedance analyzer*.

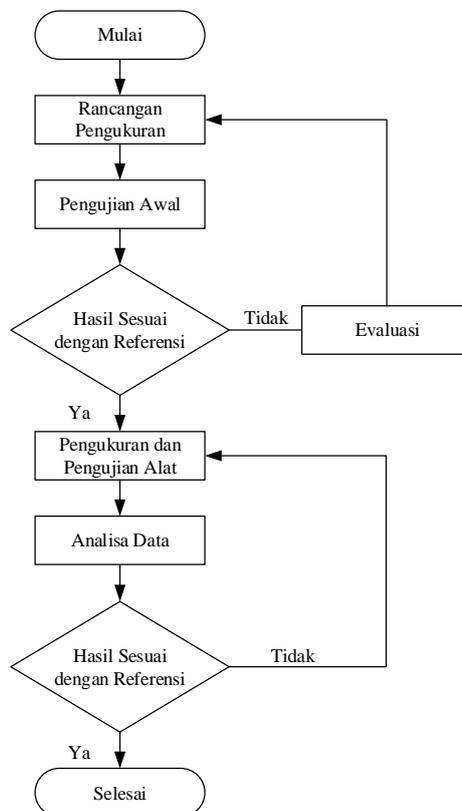
Analog device memproduksi IC yang dapat digunakan sebagai *impedance analyzer*, yakni IC AD5933. AD5933 adalah *impedance converter system* yang sangat presisi yang mengombinasikan generator frekuensi dengan ADC 12-bit, 1MSPS. Salah satu kelebihan dari IC ini adalah memiliki generator frekuensi yang dapat melakukan *frequency sweep* yang tentunya dibutuhkan dalam penelitian ini. AD5933 ini memiliki jangkauan pengukuran yang luas, yaitu dari 1 kHz sampai dengan 100 kHz [12].

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini, dilakukan metode pengukuran impedansi menggunakan probe kontak elektroda ECG dan AD5933 sebagai *impedance analyzer*, dengan objek pengukuran berupa material kayu untuk mengetahui kualitas dari material kayu tersebut berdasarkan hasil pengukuran impedansinya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

Secara sederhana proses penelitian pengukuran impedansi material kayu menggunakan *impedance to digital converter* dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 1.

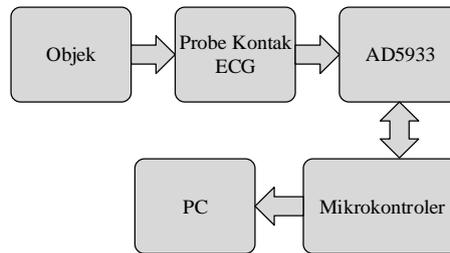


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Perancangan Sistem Pengukuran Impedansi

Perancangan sistem pengukuran impedansi pada penelitian ini terbagi menjadi 2, yakni perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak untuk mengontrol AD593

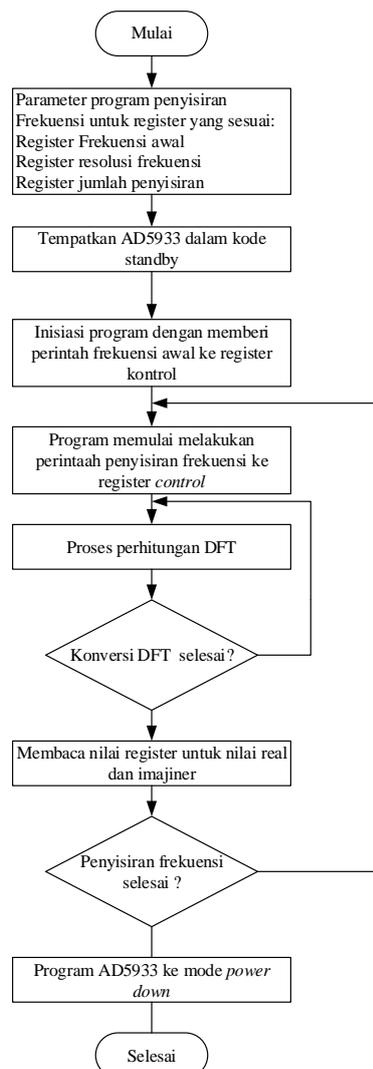
1. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 2 Blok Diagram Pengukuran AD5933

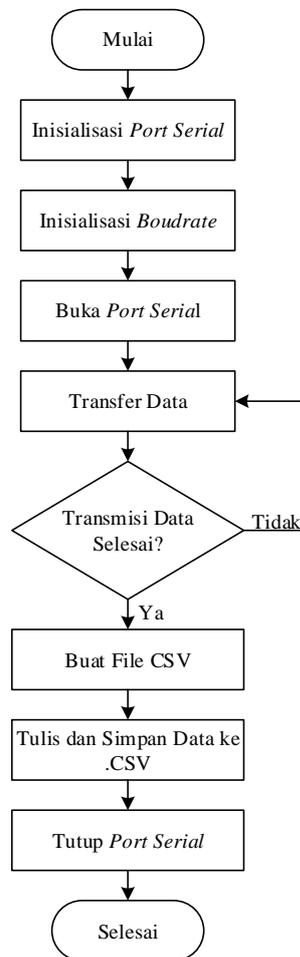
2. Perancangan perangkat lunak

Perancangan perangkat lunak yang membutuhkan 2 tahap utama. Pertama diawali dengan mengatur konfigurasi dari AD5933 yang terdiri dari frekuensi awal 1kHz, kenaikan frekuensi 1 kHz dengan jumlah penyisiran 100 titik, *osilator internal maximum clock* (MCLK) 16,775 Mhz dan *Programmable Gain Amplifier* (PGA) gain 1. Tahap yang kedua adalah memprogram untuk mode penyisiran frekuensi. Berikut diagram alir dari program penyisiran frekuensi.



Gambar 3 Diagram Alir Penyisiran Frekuensi

Perancangan perangkat lunak untuk *interface* pada pengukuran impedansi menggunakan alat ukur impedansi berbasis AD5933. *Software* Pycharm dengan bahasa pemrograman python digunakan untuk merancang *interface* dari alat ukur impedansi berbasis AD5933. Berikut diagram alir dari pemrograman *interface* tersebut.



Gambar 4 Diagram Alir Pemrograman Interface Alat Ukur Impedansi AD5933

Pengukuran impedansi dilakukan dengan menggunakan *interface* melalui PC, dimulai dengan menghubungkan alat ke PC menggunakan kabel USB. Kemudian memanggil dan menjalankan *file* program python pada *directory* CMD, dengan *port serial* dan *boudrate* yang telah sesuai inisialisasi. Program ini menggunakan port pada COM 5 dengan *boudrate* 9600. Setelah inisialisasi *port* dan *boudrate* sesuai, maka komunikasi serial antara PC dan alat ukur impedansi telah terbuka. Melalui komunikasi serial tersebut terjadilah transfer data hasil pengukuran antara alat pengukur impedansi dengan PC. Data pengukuran yang telah ditransmisikan selesai, maka data akan disimpan dalam file dengan format CSV dan pengukuran yang dilakukan telah selesai.

2.3 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Material-material kayu yang akan diukur nilai impedansinya.
2. Modul AD5933 dengan probe kontak elektroda ECG sebagai alat ukur impedansi dengan pengontrol frekuensi Mikrokontroler Arduino Uno.
3. Data-data dari beberapa referensi jurnal yang digunakan sebagai penunjang dari penelitian ini.
4. Microsoft Office (Excel 2016, Word 2016) sebagai pengolah dan perhitungan data serta pembuatan laporan dari hasil penelitian, serta software python versi 3.10 dan pycharm sebagai *interfacing* dan software kaleidagraph sebagai pengolah grafik.

2.4 Tempat dan waktu penelitian

Waktu pengerjaan penelitian dimulai pada bulan September 2021. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium JTE, KIK dan Laboratorium COE PV Module Quality dan Sensor Instrument Laboratory dengan melakukan pengukuran menggunakan modul AD5933.

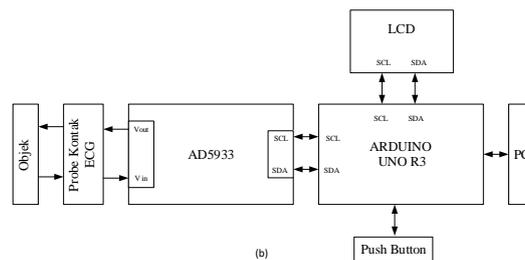
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sistem

Gambar 5 menunjukkan wujud fisik dari alat ukur impedansi berbasis AD5933. Sistem ini mampu melakukan penyisiran frekuensi dari 1 kHz sampai dengan 100 kHz, dengan 100 titik pengukuran. Sistem ini menggunakan sebuah mikrokontroler arduino uno yang berfungsi sebagai pengatur dari kerja modul AD5933 dengan saling berkomunikasi dengan protokol komunikasi I2C dan dilengkapi dengan 1 pushbutton disebelah kanan untuk memulai pengukuran serta tempat kalibrasi dibagian kiri dengan besaran 10kΩ. Berikut gambar dari sistem tersebut yang dikemas dengan menggunakan kotak akrilik dengan ukuran panjang 15 cm, tinggi 6cm, dan lebar 8 cm.



(a)



(b)

Gambar 5 Alat Ukur Impedansi Berbasis AD5933

Terlihat pada diagram di atas objek yang akan diukur ditempatkan pada bagian Vout dan Vin di mana pada wujud fisik ditunjukkan oleh kabel berwarna merah dan hitam yang terpasang pada tempat kalibrasi 10k ohm. *PushButton* ditekan sebagai perintah untuk melakukan pengukuran impedansi yang dilakukan pada AD5933 yang terkontrol menggunakan arduino uno berdasarkan protokol komunikasi I2C. Arduino mengontrol AD5933 selama pengukuran kemudian hasil pengukuran akan diterima kembali oleh arduino yang ditampilkan melalui serial monitor pada PC, pada LCD yang berkomunikasi melalui protokol I2C juga dengan arduino.



Gambar 6 Objek Material Kayu

Gambar 6 merupakan bentuk objek kayu yang akan diukur nilai impedansinya dengan ukuran ketebalan 1,5 cm dan diameter 5 cm. Objek kayu yang digunakan sebanyak 8 buah dari jenis kayu

sengon dengan ukuran yang sama namun dengan kondisi atau kandungan yang berbeda, yaitu kayu kering, lembap air, lembap minyak kayu putih, lembap minyak kayu cedar, lembap minyak kayu gaharu, lembap minyak kayu manis, kayu padat, dan kayu berlubang dengan diameter lubang 0,5 mm dan dalam 5cm. Dari kondisi-kondisi kayu tersebut masing masing akan dilakukan pengukuran menggunakan sistem AD5933 dengan data yang akan dianalisis berupa data nilai impedansi beserta sudut fasanya. Berikut tampilan dari objek yang telah dipasang elektrode ECG dan siap untuk dilakukan pengukuran.

Alat ukur impedansi berbasis AD5933 dapat dijalankan menggunakan interface melalui PC. Interface dirancang menggunakan bahasa pemrograman python pada software Pycharm dengan memanfaatkan komunikasi serial pada proses pengukurannya. Alat ukur impedansi dapat dijalankan melalui PC dengan cara menjalankan *script file* python yang telah di buat pada directory CMD, tentunya dengan alat yang terhubung melalui USB dengan port yang sesuai, yaitu COM 5. Berikut tampilan pada PC pada saat proses pengukuran impedansi menggunakan alat impedansi berbasis AD5933.

```

Command Prompt - python impedansi.py
operable program or batch file.

D:\KULIAH\semester 8\skripsi\Interface>
D:\KULIAH\semester 8\skripsi\Interface>python impedansi.py
['AD5933 Test Started!']
['Calibrated!']
['Mode = Standby']
['start']
['Frekuensi(kHz), Impedansi(Z), Fasa']
['1,9996.83,0.27']
['2,10004.18,-0.01']
['3,10006.22,-0.03']
['4,10002.12,-0.01']
['5,10003.88,0.03']
['6,10006.42,-0.01']
['7,10002.15,-0.02']
['8,10006.04,-0.01']
['9,10012.52,0.00']
['10,10002.99,-0.02']
['11,10004.13,-0.02']
['12,10005.69,-0.03']
['13,10003.09,-0.03']
['14,10007.67,-0.02']
['15,10004.44,-0.02']
['16,10004.28,-0.03']
    
```

Gambar 7 Tampilan Interface Proses Pengukuran Impedansi

Setelah pengukuran yang dilakukan selesai, data hasil pengukuran akan tersimpan otomatis dalam file dengan format CSV. Berikut tampilan data hasil pengukuran yang tersimpan dalam bentuk CSV.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Frekuensi(kHz)	Impedansi(Z)	Fasa						
5	1	9999.43	0.27						
6	2	10003.17	0						
7	3	10004.15	-0.04						
8	4	10000.04	-0.01						
9	5	10003.06	0.01						
10	6	10002.01	0.01						
11	7	10001.11	-0.02						
12	8	10000.95	-0.01						
13	9	9993.69	-0.01						
14	10	10005.17	-0.02						
15	11	9997.93	-0.01						
16	12	10001.16	-0.04						
17	13	10001.77	-0.03						
18	14	10001.34	-0.02						
19	15	10003.25	-0.02						
20									

Gambar 8 Tampilan Data Hasil Pengukuran dalam Bentuk CSV



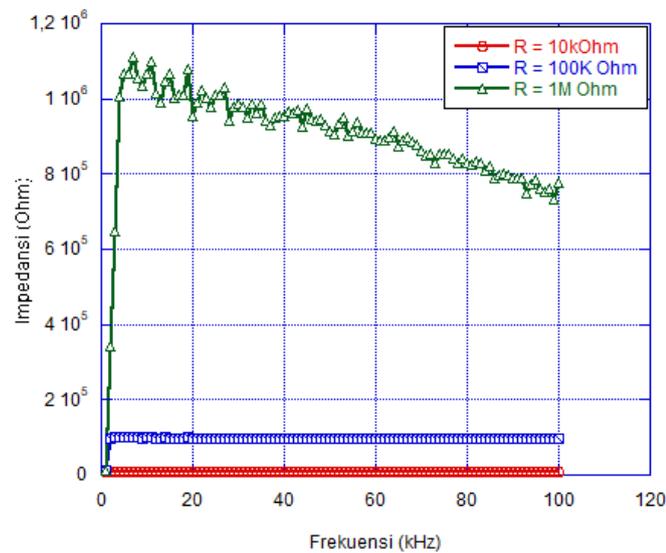
Data yang tersimpan dalam file CSV kemudian diolah dalam *software* kaleidagraph yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik.

3.2 Hasil pengukuran pengujian awal sistem AD5933

Pengukuran awal yang dilakukan untuk pengujian alat ukur impedansi AD5933 dilakukan pada komponen resistif, yaitu resistor. Pengujian awal pada pengukuran resistor dilakukan dengan 2 jenis pengukuran. Pengukuran pertama pada 3 resistor $10\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$, dan $1\text{M}\Omega$ dengan rentang frekuensi yang digunakan 1kHz - 100kHz . Pengukuran kedua dilakukan pada tiga nilai frekuensi, yaitu 1kHz , 10kHz , dan 100kHz terhadap 10 resistor dengan nilai berbeda dari rentang $10\text{k}\Omega$ - $1\text{M}\Omega$. Hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk perbandingan grafik berikut.

1. Pengukuran Impedansi dari AD5933 pada Resistor $R = 10\text{k}\Omega$, $R = 100\text{k}\Omega$, dan $R = 1\text{M}\Omega$ terhadap Frekuensi 1kHz - 100kHz

Hasil pengukuran pada pengukuran pertama oleh AD5933 pada resistor $10\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$, dan $1\text{M}\Omega$ terhadap frekuensi 1kHz - 100kHz di tunjukan oleh grafik pada Gambar 9 berikut.



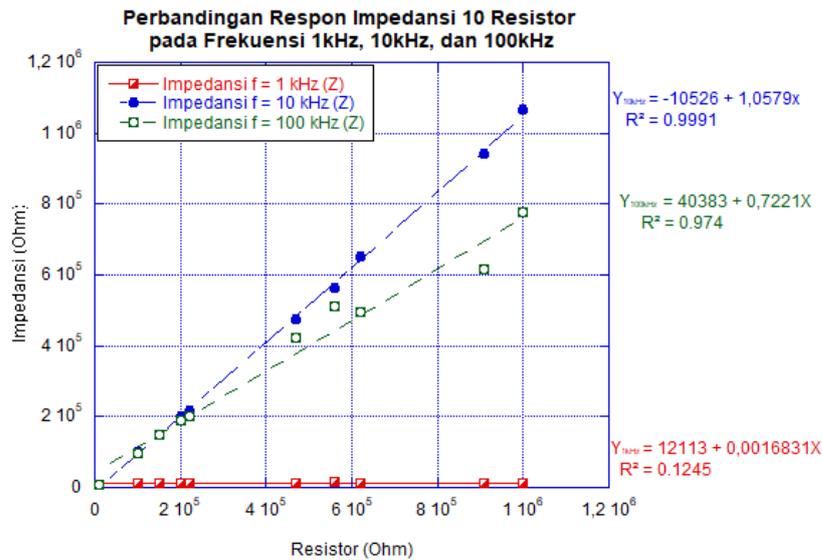
Gambar 9 Grafik Perbandingan Respons Impedansi Resistor Terhadap Frekuensi

Berdasarkan grafik di atas dapat kita analisis hasil pengukuran impedansi dari dari ketiga resistor dengan nilai berbeda. Respons impedansi yang ditunjukkan oleh resistor dengan nilai $10\text{k}\Omega$, dan $100\text{k}\Omega$ pada frekuensi 1kHz - 100kHz dapat dikatakan konstan mempertahankan nilainya dan masih berada dalam rentang nilai toleransinya, yakni sebesar 5%. Namun, pada resistor dengan nominal $1\text{M}\Omega$ respons yang ditunjukkan sedikit berbeda, di mana pada awal frekuensi rendah di bawah 3kHz respons impedansi menunjukkan kenaikan menuju nilai aslinya. Ketika berada pada rentang frekuensi 4kHz - 27kHz respons impedansi yang ditunjukkan berada pada rentang nilai toleransinya, yakni 1%, pada frekuensi seterusnya resistor $1\text{M}\Omega$ menunjukkan penurunan nilai respons impedansi terhadap kenaikan frekuensi yang diberikan.

Perbedaan toleransi antar resistor didapat dari jenis bahan resistor yang digunakan untuk resistor $10\text{k}\Omega$, dan $100\text{k}\Omega$ menggunakan toleransi 5% karena terbuat dari bahan film arbon sedangkan untuk resistor $1\text{M}\Omega$ terbuat dari 5 resistor yang disusun seri dengan nilai $200\text{k}\Omega$ yang terbuat dari bahan metal film dengan toleransi 1%. Adanya perbedaan respons impedansi terhadap nominal resistor dapat disebabkan oleh jenis bahan resistor yang digunakan dan juga akibat efek dari frekuensi tinggi yang diberikan. Efek frekuensi tinggi disebabkan adanya induktansi dan kapasitansi parasitik di mana resistor setara dengan rangkaian induktif-resistif paralel dengan kapasitif [13].

2. Pengukuran impedansi dari AD5933 pada frekuensi (1kHz , 10kHz , dan 100kHz) terhadap resistor

Hasil pengukuran kedua oleh AD5933 pada frekuensi 1kHz, 10kHz, dan 100kHz terhadap 10 resistor berbeda ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik Perbandingan Respons Impedansi 10 Resistor pada Frekuensi 1kHz, 10kHz, dan 100kHz

Berdasarkan respons impedansi dari pengukuran 10 nilai resistor pada 3 frekuensi yang berbeda didapatkan 3 persamaan regresi linier dari respons impedansi pada masing-masing frekuensi. Berikut persamaan regresi linier dari persamaan tersebut.

$$y_{1kHz} = 12113 + 0,0016831x \quad (1)$$

$$R^2 = 0,1245$$

$$y_{10kHz} = -10526 + 1,0579x \quad (2)$$

$$R^2 = 0,9991$$

$$y_{100kHz} = 40383 + 0,7221x \quad (3)$$

$$R^2 = 0,974$$

Ket :

y = Impedansi

x = Resistor

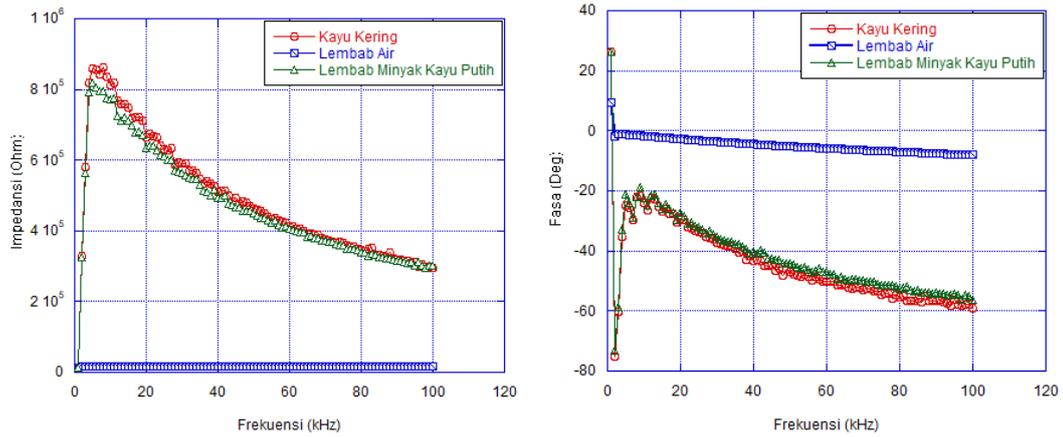
R² = Koefisien Determinasi

Berdasarkan 3 persamaan regresi yang dihasilkan, maka dapat dianalisis bahwa frekuensi yang digunakan pada pengukuran beberapa resistor memengaruhi peningkatan respons impedansi yang dihasilkan. Makin besar resistor yang diukur, maka akan semakin besar pula respons impedansi yang dihasilkan pada ketiga frekuensi tersebut. R² adalah nilai koefisien determinasi yang merupakan besarnya pengaruh kenaikan nilai resistor terhadap respons impedansi pada frekuensi tertentu. Pengaruh kenaikan nilai resistor terhadap respons impedansi pada frekuensi 1kHz sebesar 12,45%, untuk frekuensi 10kHz sebesar 99,91%, dan untuk frekuensi 100kHz sebesar 97,4%.

3.3 Hasil Pengukuran Material Kayu Menggunakan Sistem AD5933

1. Respons impedansi dan Fasa Terhadap Frekuensi Pada Kondisi Kayu

Hasil pengukuran impedansi dan fasa terhadap frekuensi pada material kayu dengan 3 kondisi yang berbeda yaitu kayu kering, lembap air, lembap minyak kayu putih ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 11.



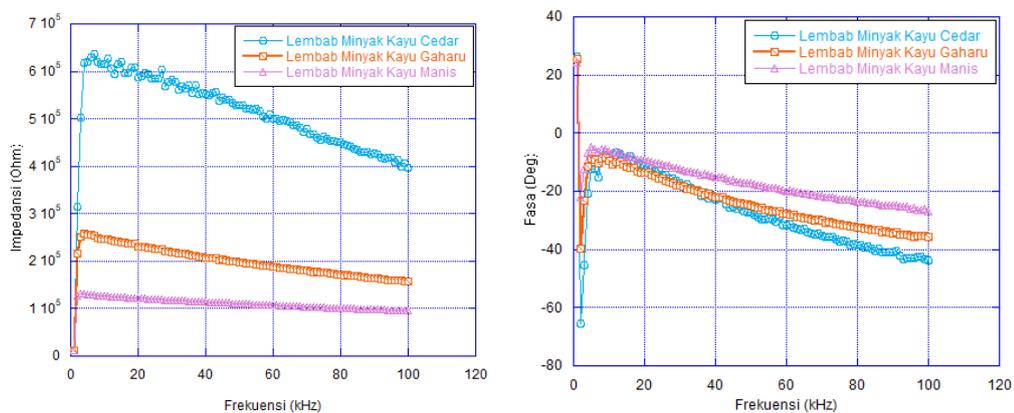
Gambar 11 Grafik Perbandingan Respons Impedansi Dan Fasa Terhadap Frekuensi Pada Kondisi Kayu

Respons impedansi berdasarkan hasil pengukuran yang pada material kayu dapat diatas dapat direpresentasikan bahwa Z kayu kering $>$ Z lembab minyak kayu putih $>$ Z lembab air. Respons fasa berdasarkan 3 kondisi pada material kayu dapat direpresentasikan bahwa θ kayu kering $<$ θ lembab minyak kayu putih $<$ θ lembab air. Berdasarkan perbandingan grafik hasil pengukuran pada material kayu di atas dapat dianalisis bahwa, respons impedansi dan respons fasa terhadap frekuensi 1 kHz-100 kHz menghasilkan respons tren yang didapat dinyatakan berkebalikan. Tren dari respons fasa tersebut sesuai atau serupa dengan penelitian terdahulu[14][15].

Dari hasil tersebut dapat dianalisis bahwa kadar air atau kelembapan dapat memengaruhi respons impedansi terhadap frekuensi. Pernyataan tersebut sesuai dengan literatur yang telah dahulu melakukan penelitian bahwa kadar air atau kelembapan pada objek dapat memengaruhi respons impedansi[16]–[18].

3. Respons Impedansi dan Fasa Terhadap Frekuensi Pada kandungan Minyak Kayu

Hasil pengukuran pengukuran respons impedansi dan fasa terhadap frekuensi pada material kayu dengan kondisi lembab oleh 3 minyak kayu yang berbeda , yaitu lembab minyak cedar, lembab minyak gaharu, dan lembab minyak kayu manis. Dengan jumlah kadar minyak yang sama, yaitu sebanyak 1 ml. Berikut grafik perbandingan yang menunjukkan hasil dari pengukuran dari 3 kondisi tersebut.



Gambar 12 Grafik Perbandingan Respons Impedansi Dan Fasa Terhadap Frekuensi Pada Kandungan Minyak Kayu

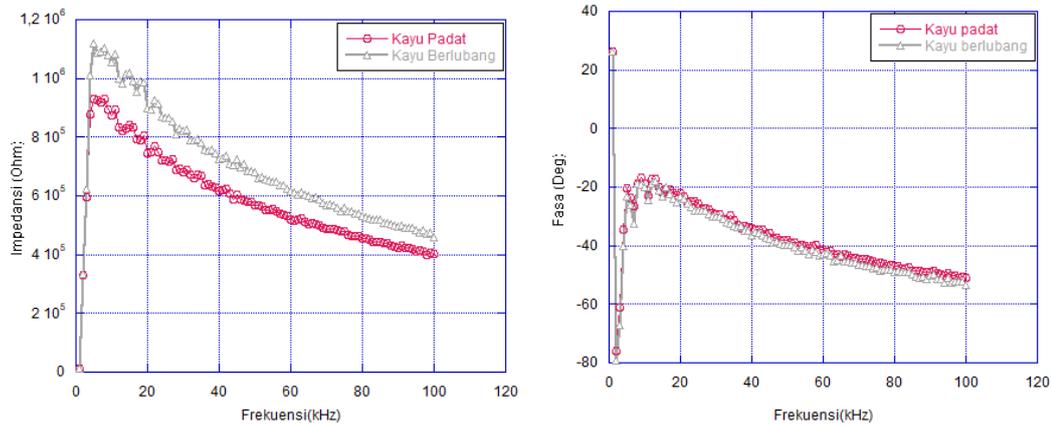
Berdasarkan hasil pengukuran impedansi terhadap frekuensi pada material kayu dengan kondisi lembab oleh 3 jenis minyak yang berbeda, maka dapat dianalisis bahwa respons

impedansi dan respons fasa terhadap frekuensi 1 kHz-100 kHz menunjukkan tren data yang saling berkebalikan. Respons impedansi berdasarkan kondisi kayu lembap oleh kandungan minyak dapat direpresentasikan bahwa lembap minyak kayu cedar > Z lembap minyak kayu gaharu > Z lembap minyak kayu manis. Namun, jika dibandingkan dengan respons impedansi yang ditunjukkan Gambar 11, respons dengan 3 kandungan minyak ini berada di bawah respons kayu kering dan respons kayu lembap minyak kayu putih tetapi berada di atas respons impedansi kayu dengan kandungan air

Respons fasa berdasarkan kondisi kayu lembap oleh kandungan 3 minyak berbeda dapat direpresentasikan bahwa θ lembap minyak kayu cedar < θ lembap minyak kayu gaharu < θ lembap minyak kayu manis. Namun, jika dibandingkan dengan respons pada Gambar 11, maka respons fasa kayu dengan 3 kandungan minyak berada di bawah θ kayu lembap air dan berada di atas θ kayu kering dan kayu lembap minyak kayu putih. Tren dari respons impedansi dan respons fasa tersebut sesuai atau serupa dengan penelitian terdahulu, bahwa hasil nilai respons impedansi berbanding terbalik dengan respons fasanya[14][15].

2. Respons Impedansi dan Fasa Terhadap Frekuensi Pada kayu Berlubang dan Kayu Padat

Hasil pengukuran pengukuran respons impedansi dan respons fasa terhadap frekuensi pada material kayu dengan kondisi kepadatan kayu yang berbeda, yaitu kayu berlubang dan kayu tak berlubang atau padat ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



Gambar 13 Grafik Perbandingan Respons Impedansi Dan Fasa Terhadap Frekuensi Pada kayu Berlubang dan Kayu Padat

Berdasarkan grafik hasil perbandingan respons impedansi dan respons fasa terhadap frekuensi yang ditunjukkan Gambar 10, maka dapat dianalisis bahwa kepadatan dari material kayu dapat dibedakan oleh respons impedansi terhadap frekuensi 1 kHz – 100 kHz. Kayu dengan kondisi padat memiliki nilai impedansi yang lebih kecil dibandingkan dengan kayu dalam kondisi berlubang atau cacat dalam. Sedangkan respons fasa menunjukkan kebalikannya, yaitu kondisi padat memiliki nilai fasa yang lebih besar dibandingkan dengan kayu pada kondisi berlubang atau cacat dalam. Ini sesuai dengan pengukuran dan literatur sebelumnya bahwa nilai respons fasa berbanding terbalik dengan nilai respons impedansinya[14][15].

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengukuran dapat dinyatakan bahwa alat ukur impedansi berbasis AD5933 dapat membedakan kualitas atau kondisi kayu berdasarkan respons magnitudo impedansi terhadap frekuensi 1 kHz-100 kHz. Karakteristik yang dihasilkan berdasarkan tren respons magnitudo impedansi pada material kayu menunjukkan respons magnitudo impedansi kayu lembap oleh minyak-minyak lebih kecil dari impedansi kayu kering, namun lebih besar dari kayu lembap air dan respons magnitudo impedansi kayu berlubang lebih besar dari kayu padat. Sedangkan tren respons fasa pada



kondisi kayu menunjukkan respons fasa kayu lembap oleh minyak- minyak lebih kecil dari impedansi kayu lembap air namun lebih besar dari kayu kering dan respons fasa berlubang lebih kecil dari kayu padat.

4.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak sekali kekurangan dan ketidaksempurnaan. Untuk itu, perlu dilakukan pengembangan agar ke depannya menjadi sempurna atau pun lebih baik lagi. Prototipe yang dikembangkan saat ini, terbatas akurasi untuk nilai impedansi di 10 k Ω - 1 M Ω pada rentang frekuensi 1 kHz-100 kHz. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat meningkatkan akurasi hasil pengukuran dan disarankan mencoba objek lain dengan kondisi parameter dan rentang frekuensi yang lebih bervariasi.

REFERENSI

- [1] A. L. Rasis, M. Mosing, G. L. Hosgood, C. J. Secombe, A. Adler, and A. D. Waldmann, "The use of electrical impedance tomography (EIT) to evaluate pulse rate in anaesthetised horses," *Vet. J.*, vol. 273, p. 105694, 2021, doi: 10.1016/j.tvjl.2021.105694.
- [2] R. Bouzida, "Pengukuran Kapasitansi pada Sensor ECT (Electrical Capacitance Tomography) 8 Channel dengan Menggunakan Impedance-To-Digital Converter AD5933," Universitas Indonesia, 2016.
- [3] A. Zarkasi *et al.*, "Teknik Pencitraan 2D Distribusi Impedansi Listrik pada Zat Cair dengan Metode Berpasangan dan Menggunakan Software," *Teknol. Rekayasa*, vol. 4, no. 1, pp. 37–44, 2017.
- [4] A. Raatevaara *et al.*, "Electrical impedance and image analysis methods in detecting and measuring Scots pine heartwood from a log end during tree harvesting," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 177, no. August, p. 105690, 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105690.
- [5] S. Gao, Z. Bao, L. Wang, and X. Yue, "Comparison of voltammetry and digital bridge methods for electrical resistance measurements in wood," vol. 145, no. November 2017, pp. 161–168, 2018.
- [6] G. Cosoli *et al.*, "Performance of concretes manufactured with newly developed low- clinker cements exposed to water and chlorides : Characterization by means of electrical impedance measurements," *Constr. Build. Mater.*, vol. 271, p. 121546, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121546.
- [7] R. Rahmatie, A. P. C. Sulistya, and D. R. Santoso, "Analisis Nilai Impedansi Listrik pada Daging Ikan Nila yang Disimpan dalam Lemari Es," vol. 6, no. 02, pp. 117–124, 2016.
- [8] A. A. Ardiawan, "Pengukuran Bioimpedance Untuk Plethymography dengan Menggunakan AD5933," Universitas Indonesia, 2014.
- [9] F. T. Endarko, "Rancang Bangun Alat Kardiografi Berbasis Impedansi Listrik," *Fis. dan Apl.*, vol. 16, pp. 1–6, 2020.
- [10] A. Iusan, "Measuring skin ' s electrical properties with ECG electrodes," pp. 708–711, 2018.
- [11] J. Arief, "Elektrokardiograf Berbasis PC (PC Based ECG)," Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, 2007.
- [12] Analog Device, "Evaluating the AD5933 1 MSPS, 12-Bit Impedance Converter Network Analyzer," pp. 1–28, 2012.
- [13] S. H. O. M. Julius, Ika Atma, "ELEKTRONIKA," *Elektro Indonesia*, 1997. <https://www.elektroindonesia.com/elektro/elek10-a.html> (accessed Mar. 07, 2022).
- [14] Z. Vizvari, K. Mathe, and P. Odry, "Multi-Frequency Electrical Impedance Measurement on a Wooden Disc Sample," no. January 2016, 2015, doi: 10.1515/aslh-2015-0012.
- [15] N. S. S. Ikhsan Nurdianis, Darmawan Hidayat, "Perancangan dan Fabrikasi Sistem Complex Impedance Analyzer Berbasis Chipset AD PDF Free Download.pdf," *Teknol. Rekayasa*, vol. 4, no. 2, pp. 139–146, 2019.
- [16] A. H. Iswanto, "Sifat Panas, Akustik, dan Elektrik pada Kayu," *USU e-repository*, 2008.
- [17] L. Yang, X. Wang, and Y. Zhang, "Impedance-Based Moisture Sensor Design and Test for Gas-Phase Biofilter Applications," no. July, 2013, doi: 10.13031/trans.56.10141.

- [18] K. Pentos, D. Łuczycka, and T. Wysoczański, “The use of complex impedance as a parameter for wood differentiation,” *Wood Res.*, vol. 61, no. 1, pp. 13–24, 2016, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/266673188>.

