

Pencitraan Biomedis Menggunakan Tomografi Impedansi listrik

Anisa Septia Mulyani^{#1}, Melinda Sari^{#2}

¹Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Instrumentasi Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia.

Email: anisaseptia2001@gmail.com, melindasari69@gmail.com

Abstrak - Penelitian ini membahas penerapan Tomografi Impedansi Listrik sebagai metode pencitraan biomedis non-invasif untuk memvisualisasikan distribusi impedansi listrik terhadap objek. Sistem EIT bekerja dengan menginjeksikan arus listrik melalui elektroda yang dipasang mengelilingi objek, kemudian mengukur beda potensial (tegangan) yang timbul akibat aliran arus tersebut. Data tegangan hasil pengukuran diolah menggunakan algoritma rekonstruksi citra pada software EIDORS sehingga menghasilkan citra dua maupun tiga dimensi yang menunjukkan variasi impedansi dalam objek. Metode yang digunakan meliputi penyusunan sistem elektroda mengelilingi objek, injeksi arus melalui pasangan elektroda, pengukuran tegangan dari elektroda lainnya, pemrosesan data dan rekonstruksi menggunakan algoritma EIDORS di MATLAB.

Hasil pada penelitian ini adalah MATLAB mampu menggambarkan pergeseran posisi objek dalam medium elektrolit yang mana ini menunjukkan bahwa sistem EIT yang dirancang mampu mendeteksi perubahan distribusi impedansi yang kemudian dapat menunjukkan perubahan posisi daripada objek yang diuji. Selama proses akuisisi sistem menunjukkan rentang tegangan stabil antara 0.8 V–2.0 V. Keberhasilan ini dibuktikan dari pola tegangan yang konsisten berubah seiring pergeseran objek di dalam *phantom*. Perubahan impedansi yang dideteksi sistem juga berhasil dikonversi menjadi visualisasi citra yang menggambarkan variasi kondisi fisik objek secara akurat. Teknologi ini terbukti aman, murah, dan efektif, sehingga berpotensi besar untuk digunakan dalam diagnosis dan pemantauan kondisi medis di masa depan.

Kata kunci: Pencitraan biomedis, tomografi impedansi listrik, elektroda, rekonstruksi

gambar, diagnosis medis.

Abstract - Biomedical imaging using electrical impedance tomography (EIT) is a non-invasive technique that can be used to visualize the distribution of electrical impedance in human tissues. This technique is very useful in various medical applications, such as monitoring the condition of the lungs, brain, and other tissues undergoing pathological changes. In this study, EIT was used to obtain information on changes in impedance distribution that reflect the physical and biological properties of tissues. The EIT system consists of electrodes placed around the body or area being examined, a current source to conduct the signal, and a measurement of the voltage generated due to the flow of current through the body tissue. The data obtained is then processed using image reconstruction algorithms to produce two-dimensional or three-dimensional images of tissue impedance distribution. Experimental results show that EIT is capable of providing an accurate picture of impedance variations in biological tissues, which can be used to detect physiological or pathological changes. In addition, this technology also offers the advantage of being a relatively cheap and safe method compared to other medical imaging techniques such as CT scans or MRIs. Overall, this study shows the great potential of using EIT in biomedical imaging, both for the purpose of diagnosis, monitoring of patient conditions, and further research in the medical field. With further technological development, EIT could become an important tool in improving the quality of healthcare in the future.

Keywords: Biomedical imaging, electrical impedance tomography, electrode, image reconstruction, medical diagnosis

1. Pendahuluan

Teknologi biomedis atau yang lebih dikenal dengan teknologi kedokteran termasuk salah satu komponen penting dalam sistem kesehatan publik, kemajuan sebuah sistem kesehatan tergantung pada seberapa canggih teknologi kedokteran yang digunakan. Pencitraan atau *bioimaging* saat ini merupakan metode yang menjadi ujung tombak pemeriksaan untuk kasus-kasus yang tidak kasat mata. *Medical imaging*, atau umumnya disebut radiologi, merupakan pengambilan gambar dari bagian tubuh manusia yang digunakan untuk keperluan medis. Dalam pencitraan biomedis dikenal sebuah metode tomografi, tomografi adalah suatu proses untuk menghasilkan tomogram, yaitu potongan gambaran dua dimensi dari bagian objek tiga dimensi. Dibiidang kedokteran, tomografi erat kaitannya dengan prosedur diagnostik yang disebut sebagai *computerized tomography scan* (CT-scan). Citra tomografi umumnya diperoleh dari perangkat CT- Scan namun dengan biaya yang tinggi dan beresiko medis dikarenakan menggunakan sumber radiasi sinar-X maka salah satu metode pencitraan yang saat ini banyak diminati khususnya dalam dunia medis ialah metode Tomografi Impedansi Listrik. Metode ini banyak diminati karena beberapa kelebihan yang dimilikinya diantaranya adalah sederhana, murah dan bersifat *noninvasive* yang artinya tidak merusak bahan yang dijadikan sampel atau objek pengukuran. Tomografi impedansi listrik (EIT) adalah metode pencitraan baru yang didasarkan pada konduktivitas listrik berbeda di berbagai area tubuh. Metode Tomografi Impedansi Listrik dilakukan dengan cara menginjeksikan arus dengan besar dan frekuensi tertentu pada bahan melalui suatu elektroda kemudian diukur beda potensial listrik yang terjadi akibat injeksi arus tersebut pada elektroda yang lain, data yang diperoleh setelah melakukan pengukuran beda potensial akan digunakan untuk melakukan rekonstruksi citra menggunakan software EIDORS. EIDORS adalah toolbox MatLab khusus untuk rekonstruksi citra menggunakan nilai impedansi listrik yang diperoleh dari urutan sambungan tertentu melalui susunan 16 buah elektroda. Sifat elektrik

objek merupakan sifat fisis yang menarik dalam dunia medis karena masing-masing jaringan organ dalam tubuh memiliki nilai besaran elektrik yang berbeda berdasarkan dari sifat elektrik objek inilah yang nantinya akan dicitrakan menggunakan metode tomografi impedansi listrik dalam bidang biomedis.

Penelitian mengenai pencitraan dengan menggunakan tomografi impedansi listrik pernah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya yaitu mokhamad Fakhrol Ulum, Muhammad Nico Ghossani, Maryani, Fitra Aji Pamungkas, Jakaria dengan judul penelitian teknik pencitraan ultrasonografi dan tomografi impedansi listrik pada potongan komersial daging sapi (tahun 2023) pada penelitian ini elektroda disusun dengan konsep konfigurasi werner 4 elektroda dengan jarak antar elektroda di atur $a = 9 \text{ mm}$, menggunakan sumber tegangan baterai DC sebesar 9 volt yang dihubungkan dengan multimeter dan dihantarkan pada daging. Arus dan tegangan yang terukur dicatat kedalam table *Microsoft excel dan notepad* selanjutnya diolah dengan perangkat lunak Res2Dinv.

Pada tahun 2022 terdapat penelitian berjudul rancang bangun sistem pengatur alur injeksi arus dan pengukuran tegangan untuk sistem *electrical impedance tomography* oleh Ari Bangkit sanjaya Umbu pada penelitian tersebut proses injeksi arus dan pengukuran tegangan pada sistem EIT diatur dengan menggunakan blok pengatur alur injeksi arus dan pengukur tegangan yang berperan penting untuk menghubungkan sistem EIT ke objek dan sebaliknya pada penelitian tersebut menggunakan kombinasi IC 74HC4067 dan relay untuk mengatur pola injeksi arus dan pola pengukuran tegangan

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang menjadi tolak ukur pada penelitian saat ini menekankan bagaimana metode penginjeksian arus melalui elektroda bergantung pada jumlah elektroda yang digunakan dan menekankan pada metode penginjeksian arus yang dilakukan, jumlah elektroda yang digunakan pada penelitian saat ini 16 elektroda.

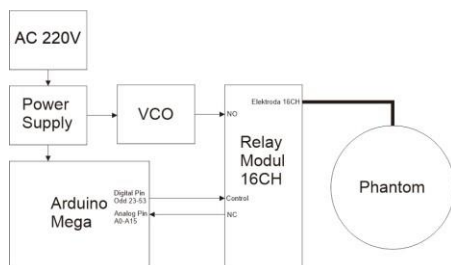
2. Metode Penelitian

2.1 Perancangan Alat

Tahapan dalam menjalankan sistem EIT terdiri dari beberapa tahapan yaitu perancangan desain elektrik, perancangan desain mekanikal, dan perancangan rekonstruksi citra

2.1.1. Perancangan desain elektrik

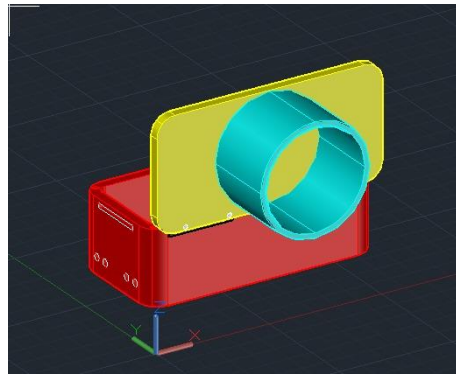
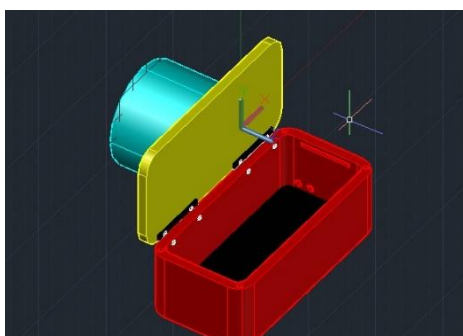
Untuk membuat rancangan elektrik dibutuhkan beberapa komponen yaitu Arduino Uno dan Relay, yang berperan penting dalam proses penginjeksian arus dan pembacaan tegangan. Relay bertugas untuk memilih saluran input atau output (elektroda yang terhubung pada pin di Relay) yang pemilihan pin tersebut dikontrol oleh arduino dengan cara arduino mengirimkan sinyal logika ke pin kontrol Relay untuk memilih elektroda yang aktif untuk mengatur urutan injeksi arus dan pengukuran tegangan kemudian arduino akan membaca tegangan dari elektroda melalui pin analog lalu data impedansi yang dibaca oleh arduino akan dikirim ke PC melalui komunikasi serial (USB) untuk diolah lebih lanjut menggunakan MATLAB.



Gambar 1. Perancangan desain elektrik

2.1.2. Perancangan Desain mekanikal

Perancangan mekanikal menggunakan *software autocad* dengan hardware yang berbahan plastik yang terdiri dari box dan pada tutupnya terdapat wadah yang berbentuk lingkaran dengan elektroda yang mengelilinginya, wadah inilah yang akan berfungsi sebagai tempat untuk menaruh objek dan cairan elektrolit.



Gambar 2. Perancangan Desain mekanikal

2.1.3. Perancangan rekonstruksi citra

Agar mendapatkan hasil rekonstruksi yang baik maka dibutuhkan metode rekonstruksi yang baik pula, salah satu software yang dapat digunakan untuk merekonstruksi hasil pengukuran tegangan pada proyek ini adalah software EIDORS yang dapat dijalankan pada program MATLAB. Rekonstruksi citra bekerja dengan cara mengolah data pengukuran potensial listrik pada wadah yang diletakkan elektroda yang dijadikan media injeksi listrik yang didalamnya terdapat objek yang akan di rekonstruksikan

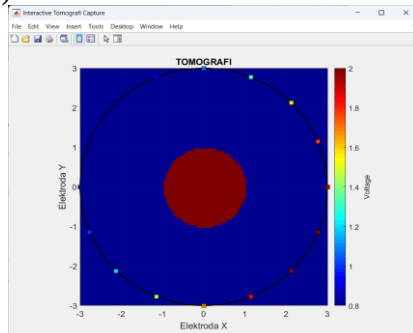
2.2 Metode injeksi arus

Tomografi impedansi listrik bekerja dengan cara menginjeksikan arus bolak balik pada objek melalui elektroda yang terpasang pada permukaan objek lalu beda potensial listrik antar elektroda pada permukaan objek diukur, terdapat beberapa metode penginjeksian arus pada EIT yaitu metode berpasangan, metode bersilangan, metode berlawanan, metode multireferensi, dan metode adaptif akan tetapi pada penelitian ini data pengukuran yang direkonstruksikan menggunakan metode injeksi arus secara berpasangan. Metode ini memiliki beberapa kelebihan seperti sederhana dalam pembuatan perangkat kerasnya, low noise dan sangat sensitif pada bagian pinggir medium namun distribusi arusnya tidak merata karena sebagian besar arus hanya mengalir disekeliling elektroda.

3. Hasil dan pembahasan

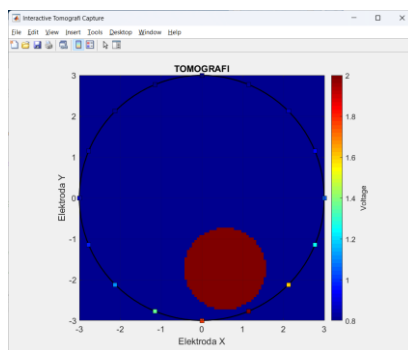
A. hasil akuisisi data

a). Posisi 1.



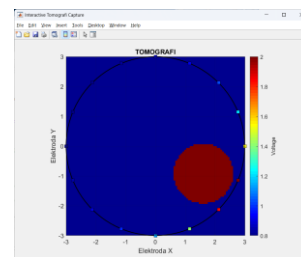
PENGUKURAN OBJEK POSISI 1		
PENGUKURAN	Elektroda	V Terukur
V1	1	1.9318
	2	1.7802
V2	3	1.5704
	4	1.3359
V3	5	1.1128
	6	0.9340
V4	7	0.8247
	8	0.8000
V5	9	0.8632
	10	1.0058
V6	11	1.2078
	12	1.4403
V7	13	1.6683
	14	1.8562
V8	15	1.9733
	16	2.0000

b). Posisi 2.



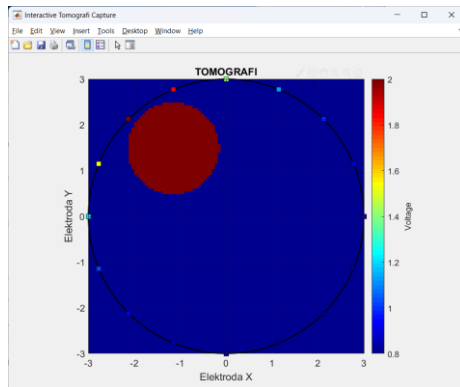
PENGUKURAN OBJEK POSISI 2		
PENGUKURAN	Elektroda	V Terukur
V1	1	1.0543
	2	0.9370
V2	3	0.8669
	4	0.8257
V3	5	0.8047
	6	0.8000
V4	7	0.8107
	8	0.8387
V5	9	0.8896
	10	0.9748
V6	11	1.1185
	12	1.3698
V7	13	1.7821
	14	2.0000
V8	15	1.6085
	16	1.2565

c). Posisi 3.



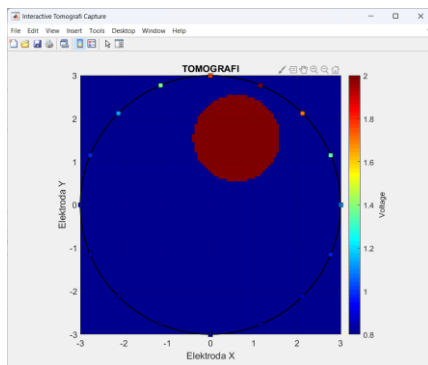
PENGUKURAN OBJEK POSISI 3		
PENGUKURAN	Elektroda	V TERUKUR
V1	1	1.5572
	2	1.2211
V2	3	1.0328
	4	0.9239
V3	5	0.8590
	6	0.8212
V4	7	0.8027
	8	0.8000
V5	9	0.8126
	10	0.8428
V6	11	0.8966
	12	0.9869
V7	13	1.1407
	14	1.4141
V8	15	1.8581
	16	2.0000

d). Posisi 4.



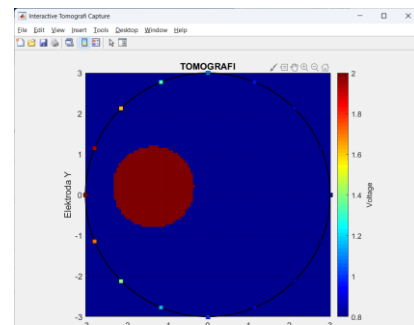
PENGUKURAN OBJEK POSISI 4		
PENGUKURAN	Elektroda	V Terukur
V1	1	0.8420
	2	0.8948
V2	3	0.9835
	4	1.1353
V3	5	1.4079
	6	1.8593
V4	7	2.0000
	8	1.5446
V5	9	1.2109
	10	1.0264
V6	11	0.9202
	12	0.8570
V7	13	0.8204
	14	0.8025
V8	15	0.8000
	16	0.8124

e). Posisi 5.



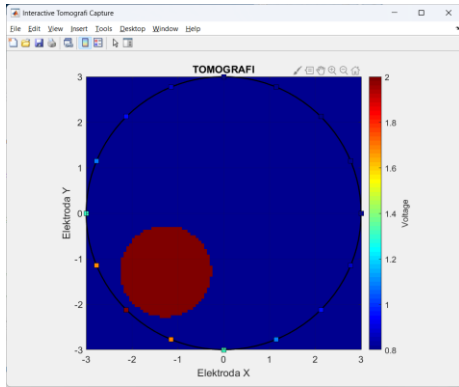
PENGUKURAN OBJEK POSISI 5		
PENGUKURAN	Elektroda	V TERUKUR
V1	1	1.1197
	2	1.3559
V2	3	1.7183
	4	2.0000
V3	5	1.7631
	6	1.3902
V4	7	1.1406
	8	0.9891
V5	9	0.8964
	10	0.8405
V6	11	0.8102
	12	0.8000
V7	13	0.8081
	14	0.8360
V8	15	0.8860
	16	0.9763

f). Posisi 6.



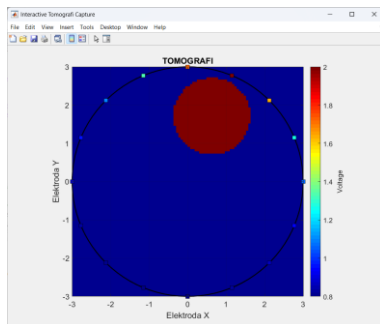
PENGUKURAN OBJEK POSISI 6		
PENGUKURAN	Elektroda	V TERUKUR
V1	1	0.8000
	2	0.8227
V2	3	0.8750
	4	0.9649
V3	5	1.1066
	6	1.3219
V4	7	1.6261
	8	1.9444
V5	9	2.0000
	10	1.7220
V6	11	1.3983
	12	1.1584
V7	13	0.9985
	14	0.8959
V8	15	0.8341
	16	0.8036

g). Posisi 7.



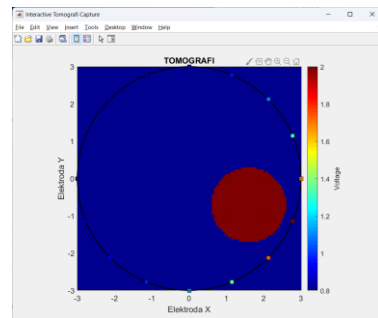
PENGUKURAN OBJEK POSISI 7		
PENGUKURAN	Elektroda	V TERUKUR
V1	1	0.8331
	2	0.8080
V2	3	0.8000
	4	0.8076
V3	5	0.8320
	6	0.8781
V4	7	0.9556
	8	1.0852
V5	9	1.3087
	10	1.6846
V6	11	2.0000
	12	1.6979
V7	13	1.3176
	14	1.0902
V8	15	0.9586
	16	0.8798

h). Posisi 8



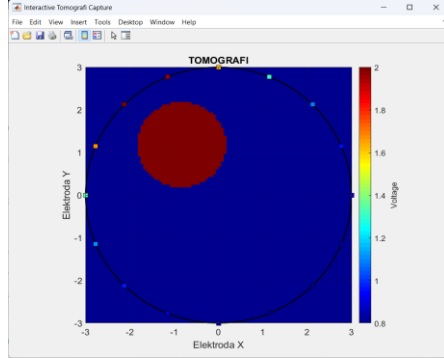
PENGUKURAN OBJEK POSISI 8		
PENGUKURAN	ELEKTRODA	V TERUKUR
V1	1	1.0660
	2	1.2769
V2	3	1.6409
	4	2.0000
V3	5	1.7315
	6	1.3357
V4	7	1.0994
	8	0.9638
V5	9	0.8832
	10	0.8352
V6	11	0.8092
	12	0.8000
V7	13	0.8061
	14	0.8285
V8	15	0.8714
	16	0.9442

i). Posisi 9.



PENGUKURAN OBJEK POSISI 9		
PENGUKURAN	ELEKTRODA	TEGANGAN TERUKUR(V)
V1	1	1.6841
	2	1.3171
V2	3	1.0924
	4	0.9599
V3	5	0.8799
	6	0.8323
V4	7	0.8072
	8	0.8000
V5	9	0.8094
	10	0.9370
V6	11	0.8880
	12	0.9733
V7	13	1.1149
	14	1.3555
V8	15	1.7390
	16	2.0000

j). Posisi 10



PENGUKURAN OBJEK POSISI 10		
PENGUKURAN	ELEKTRODA	TEGANGAN TERUKUR(V)
V1	1	0.8736
	2	0.9604
V2	3	1.0991
	4	1.3149
V3	5	1.6320
	6	1.9728
V4	7	2.0000
	8	1.6751
V5	9	1.3469
	10	1.1199
V6	11	0.9737
	12	0.8817
V7	13	0.8273
	14	0.8014
V8	15	0.8000
	16	0.8229

B. Pembahasan

Bagian ini membahas hasil pengujian sistem Electrical Impedance Tomography (EIT) yang meliputi proses akuisisi data tegangan dari 16 elektroda, analisis pola distribusi tegangan untuk setiap posisi objek, serta interpretasi bagaimana perubahan tegangan tersebut menggambarkan pergeseran posisi objek dalam medium elektrolit. Data yang digunakan merupakan hasil pengukuran dari 10 posisi objek yang berbeda, sebagaimana ditampilkan pada tabel–tabel pengukuran di bagian sebelumnya

Elektroda yang berada dekat dengan objek menunjukkan penurunan tegangan Hal ini karena keberadaan objek menyebabkan arus melewati jalur baru dengan hambatan berbeda sehingga potensial listrik di sekitar objek mengalami perubahan. Elektroda yang berada jauh dari objek cenderung menunjukkan tegangan lebih tinggi atau mendekati nilai normal. Perubahan pola tegangan antar posisi menunjukkan perpindahan objek di dalam wadah.

Ketika arus diinjeksikan antar dua elektroda, distribusi tegangan di medium bergantung pada jarak elektroda ke objek, resistivitas objek, posisi objek relatif terhadap pasangan injeksi. Pada seluruh pengukuran pola tegangan mengikuti prinsip dasar EIT Tegangan turun ketika objek berada dekat elektroda Tegangan meningkat ketika objek jauh dari elektroda. Hal ini terlihat jelas dari perubahan pola pada Tabel 5–Tabel 14. Hasil data menunjukkan:

1. Tidak terdapat nilai tegangan yang tidak masuk akal (outlier).
2. Rentang tegangan stabil antara 0.8 V hingga 2.0 V.
3. Perubahan antar posisi sesuai perpindahan objek.

Ini menunjukkan bahwa sistem akuisisi tegangan EIT telah berhasil membaca perubahan impedansi dengan baik sehingga perubahan posisi objek pun dapat dideteksi dari pola tegangan yang dihasilkan yang mana membuktikan bahwa sistem bekerja stabil, akurat, dan menunjukkan performa yang sesuai dengan teori dasar tomografi impedansi listrik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sistem Tomografi Impedansi Listrik berbasis 16 elektroda dengan pola injeksi berpasangan telah berhasil dilakukan perangkat keras sistem elektrikal berfungsi dengan stabil menghasilkan data tegangan terukur konsisten dengan rentang konsisten antara 0.8 V hingga 2.0 V tanpa outlier
2. Proses akuisisi data membuktikan kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan distribusi impedansi di mana pola tegangan yang terukur secara konsisten menunjukkan pergerakan posisi objek

3. Data tegangan berhasil diolah dan direkonstruksikan menjadi citra 2D yang memvisualisasikan variasi kondisi objek secara akurat menggunakan EIDORS

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kualitas hasil visual bergantung pada tegangan yang dihasilkan yang dapat dilihat pada data yang dihasilkan bahwa semakin kecil nilai tegangan maka semakin dekat pula objek terhadap titiknya dimana objek menjadi hambatan terhadap pengaliran arus yang membuat pembacaan semakin kecil.

5. Daftar pustaka

- [1] AIN, Khusnul, dkk. Peningkatan kualitas citra rekonstruksi melalui kombinasi citra tomografi listrik dan akustik.
- [2] AIN, Khusnul, dkk. Sistem tomografi impedansi listrik sebagai sarana uji tak rusak sederhana. *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi*, 2012, vol. 13, no. 1, hlm. 11–21.
- [3] CASTILLO, C. E. dan ALVAREZ, A. E. Development and evaluation of a low cost 8-electrode Electrical Impedance Tomography system. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2021. hlm. 012002.
- [4] EIDORS pada sistem Electrical Impedance Tomography (EIT) untuk meningkatkan akurasi citra objek. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronik*, 2022, vol. 5, no. 1, hlm. 41–52.
- [5] SAKTI, Novi Angga, dkk. *Rancang bangun sumber arus listrik multirekuensi pada tomografi impedansi elektrik untuk mendeteksi anomali organ tubuh*. Disertasi (Ph.D.) – Universitas Airlangga, 2016.
- [6] SUJIWA, Akbar, dkk. Studi penyesuaian perangkat lunak.
- [7] ULUM, Mokhamad Fakhrol, dkk. Teknik pencitraan ultrasonografi dan tomografi impedansi listrik pada potongan komersial daging sapi. *ARSHI Veterinary Letters*, 2023, vol. 7, no. 2, hlm. 39–40.
- [8] UMBU, Ari Bangkit Sanjaya. Rancang bangun sistem pengatur alur injeksi arus dan pengukur tegangan untuk sistem electrical impedance tomography. *Optika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 2022, vol. 6, no. 2, hlm. 111–118.