

# PERANCANGAN *VOLTAGE-CONTROLLED OSCILLATOR (VCO)* BERBASIS IC XR-2206 UNTUK SISTEM *ELEKTRICAL IMPEDANCE* *TOMOGRAPHY (EIT)*

**Ari Bangkit Sanjaya Umbu**

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Indonesia

*Corresponding Author:* [aribangkit.sanjaya@gmail.com](mailto:aribangkit.sanjaya@gmail.com)

## ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah merancang *Voltage-Controlled Oscillator (VCO)* untuk sistem *Electrical impedance Tomography (EIT)* yang memanfaatkan IC XR-2206 sebagai pembangkit sinyal eksitasi. Pengujian sinyal keluaran dari rangkaian VCO dilakukan dengan menggunakan osiloskop. Hal ini dilakukan untuk melihat kualitas sinyal dan frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian VCO. Hasil perancangan dan pengujian rangkaian VCO diperoleh hasil bahwa frekuensi sinyal yang dapat dibangkitkan berada pada rentang 3.00 KHz hingga 88.49 KHz. Namun, sebagaimana yang teramati dalam pengujian, rangkaian VCO yang dirancang menunjukkan adanya tegangan DC *offset*. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan penambahan sebuah rangkaian filter aktif yang terhubung pada keluaran VCO. Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap rangkaian VCO hasil perancangan, didapatkan hasil bahwa sistem yang telah dirancang memiliki kapabilitas sebagai pembangkit sinyal eksitasi pada sistem EIT dengan nilai frekuensi eksitasi 3.00 KHz - 88.49 KHz.

**Kata Kunci:** *Voltage-Controlled Oscillator (VCO), Filter, Electrical impedance Tomography (EIT), DC Offset, frekuensi*

## ABSTRACT

*This study aim to design a Voltage-Controlled Oscillator (VCO) based on the IC XR-2206 for Electrical Impedance Tomography (EIT) system. Testing of the VCO output signals is conducted using an oscilloscope to evaluate the signal quality and frequency range. The design and testing results show that the VCO can generate signals within the frequency range of 3.00 KHz to 88.49 KHz. However, a DC offset voltage was observed in the VCO, thus, it is recommended to integrate the IC XR-2206-based VCO with an active filter circuit in the design of the EIT system. However, as observed during testing, the designed VCO circuit exhibits a DC offset voltage. Therefore, to address this issue, the addition of an active filter circuit connected to the VCO output is necessary. Based on the testing and analysis of the VCO circuit conducted, it is found that the constructed system has the capability to serve as an excitation signal source for the EIT system with frequencies ranging from 3.00 KHz to 88.49 KHz.*

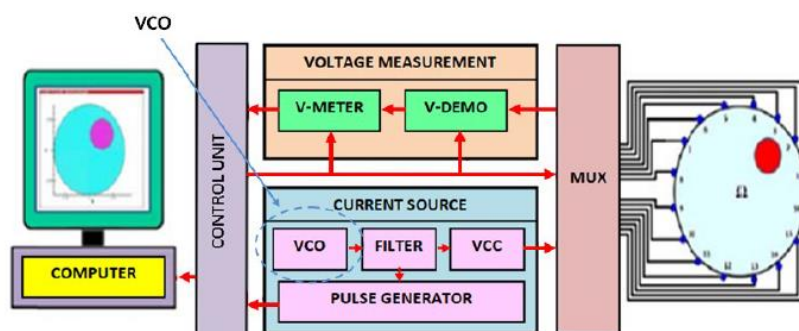
**Keywords:** *Voltage-Controlled Oscillator (VCO), Filter, Electrical impedance Tomography (EIT), DC Offset, Frequency*

## PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang sangat cepat dan luas telah mendorong umat manusia untuk terus melakukan inovasi-inovasi dengan menerapkan teknologi pada berbagai bidang. Hal ini dilakukan guna memenuhi serta menjawab standar kehidupan manusia yang semakin tinggi serta kompleks. Kemajuan ini juga tercermin dari perkembangan teknologi dalam metode pencitraan suatu objek. Salah satu teknologi citra yang menarik perhatian adalah *Electrical Impedance Tomography* (EIT).

*Electrical Impedance Tomography* (EIT) adalah suatu metode citra yang memberikan informasi berupa gambaran distribusi resistivitas atau konduktivitas dari suatu objek (Umbu, 2022) (Hamilton & Hauptmann, 2018) (Bera, 2018) (Gallardo *et al.*, 2022). Informasi terkait gambaran distribusi resistivitas atau konduktivitas listrik pada suatu objek ukur dapat dihasilkan melalui penginjeksian arus konstan pada sepasang elektroda yang diletakan pada bidang batas, dan kemudian dilakukan pengukuran tegangan pada sepasang elektroda di sebelahnya (Sapuan *et al.*, 2017) (Rymarczyk & Szulc K, 2017) (Umbu, 2022b) (Trigo *et al.*, 2004) (Sarode *et al.*, 2012). Kualitas data yang dihasilkan oleh sistem EIT sangat bergantung pada kemampuan perangkat kerasnya dan kualitas rekonstruksi citranya bergantung pada perangkat lunaknya (algoritma rekonstruksi) (Moro & Porto, 2015) (Wu J *et al.*, 2013). Metode citra berbasis sistem EIT memiliki keunggulan dibandingkan metode citra lainnya antarlain desain yang tidak rumit, biaya pembuatan sistem yang murah, ringkas sehingga mudah untuk dibawa dan dalam penerapan pada tubuh manusia tidak memicu radiasi ionisasi (Sebu, 2017) (Nascimento *et al.*, 2021) (Singh *et al.*, 2012).

Teknik citra *Electrical Impedance Tomography* (EIT) telah terapkan pada beberapa bidang, salah satunya adalah bidang medis (Pasha *et al.*, 2021) (Shinde & Kamat, 2013). Penelitian yang dilakukan memiliki nilai urgensi yang cukup tinggi dalam mendukung kemajuan teknologi medis berbasis non-invasif. Sistem EIT dapat mengambil peranan penting sebagai instrumen medis yang dapat dimanfaatkan untuk monitoring pada proses pengosongan lambung, monitoring fungsi paru-paru, jumlah air pada paru-paru, fungsi jantung, fungsi otak serta mengidentifikasi penyakit kanker pada payudara (Teschner *et al.*, 2013). Injeksi arus listrik yang digunakan untuk aplikasi medis berkisar pada 1 mA hingga 10 mA dengan frekuensi 10 KHz hingga 10 MHz (Chitturi *et al.*, 2014) (Graham *et al.*, 2007). Keberlanjutan inovasi menjadi kunci untuk meningkatkan kualitas rekonstruksi citra sistem EIT. *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO) adalah salah satu komponen rangkaian krusial dalam sistem EIT yang sangat mempengaruhi kualitas citra yang dihasilkan sistem. Posisi rangkaian VCO dalam blok rangkaian sistem EIT ditunjukkan pada Gambar 1.

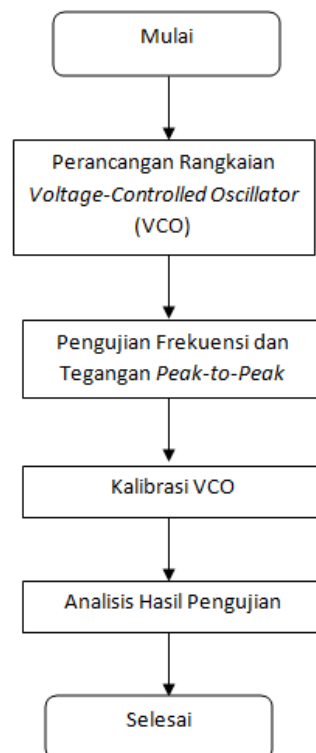


Gambar 1. Blok Rangkaian Keseluruhan pada Sistem EIT (Khalighi *et al.*, 2014)

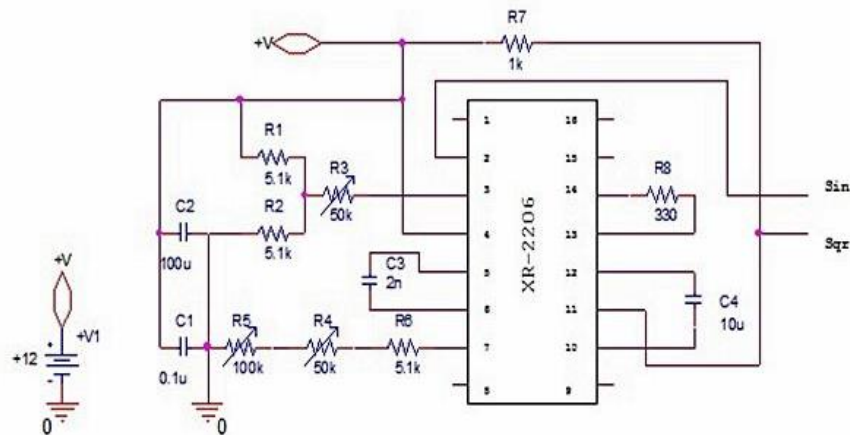
Rangkaian *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO) merupakan suatu rangkaian osilator elektronik yang didesain sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan tegangan osilasi yang dapat diatur oleh tegangan dari sumber tegangan yang digunakan (Chitturi & Farrukh, 2016). Terdapat beberapa *integrated circuit* (IC) dan modul yang dapat dijumpai dipasaran dan biasa digunakan sebagai sumber penghasil sinyal sinusodal pada rangkaian *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO), yaitu seperti IC MAX038, IC XR-2206, IC LM741, IC ICL8038, dan modul IC AD9850. Seluruh IC tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda dalam menghasilkan sinyal sinusoidal. Karakteristik tersebut dapat dilihat dari kemampuan dalam kekonsistenan menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal, amplitudo maksimum dan frekuensi maksimum. Berdasarkan penjabaran di atas dan dengan mengacu pada beberapa penelitian yang dirujuk pada penelitian ini, penulis terdorong untuk melakukan penelitian terkait perancangan rangkaian *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO) dengan memanfaatkan IC XR-2206 sebagai pembangkit sinyal eksitasi untuk sistem *Electrical Impedance Tomography* (EIT). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk melihat kualitas sinyal dan frekuensi yang dapat dibangkitkan oleh rangkaian VCO berbasis IC XR-2206.

## METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem dengan pendekatan eksperimental. Sistem yang dibangun adalah sebuah rangkaian *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO) yang berbasis IC XR-2206 sebagai komponen pembangkit sinyal eksitasi serta beberapa komponen tambahan resistor dan kapasitor. Diagram alir penelitian dan skema rangkaian VCO yang dirancang dengan menggunakan IC XR-2206 berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

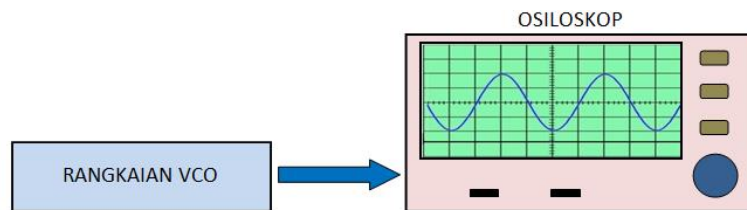


Gambar 2. Diagram alir penelitian



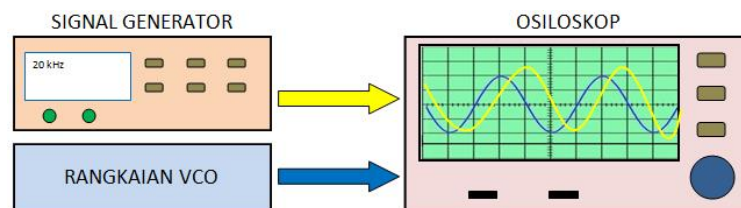
Gambar 3. Rangkaian *Voltage-controlled oscillator* dengan menggunakan IC XR-2206

Setelah VCO selesai dirancang, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap rangkaian. Pengujian rangkaian VCO hasil perancangan dilakukan dengan cara menghubungkan osiloskop dengan rangkaian VCO. Pengujian pada tahap ini bermaksud untuk melihat bentuk sinyal keluaran, serta data frekuensi (Frekuensi minimum dan maksimum) dan tegangan peak to peak ( $V_{pp}$ ) (Tegangan *peak-to-peak* minimum dan maksimum) yang dapat dicapai rangkaian VCO yang dibangun. Pengaturan nilai frekuensi dapat dilakukan dengan memutar resistor variabel R4 dan R5, sedangkan pengaturan nilai tegangan *peak-to-peak* dapat dilakukan dengan memutar resistor variabel R3. Skema pada pengujian rangkaian VCO hasil perancangan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema untuk pengujian rangkaian VCO

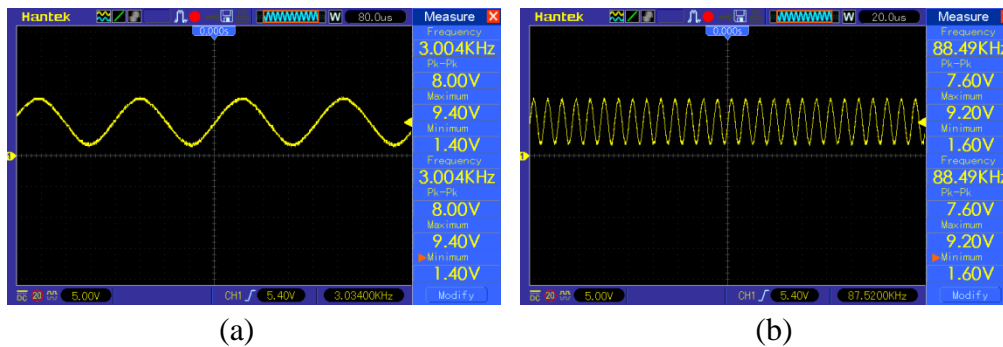
VCO yang telah dirancang kemudian dikalibrasi dengan membandingkan sinyal keluarannya dengan sinyal keluaran sebuah *Signal generator* standar. Hal ini dilakukan untuk melihat kesesuaian bentuk sinyal keluaran VCO pada tegangan *peak-to-peak* ( $V_{pp}$ ) dan frekuensi tertentu (nilai frekuensi VCO dan *Signal generator* diatur pada 20 kHz). Skema untuk kalibrasi VCO hasil perancangan terhadap *Signal generator* standar ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema untuk kalibrasi sinyal keluaran VCO terhadap *Signal Generator* Standar

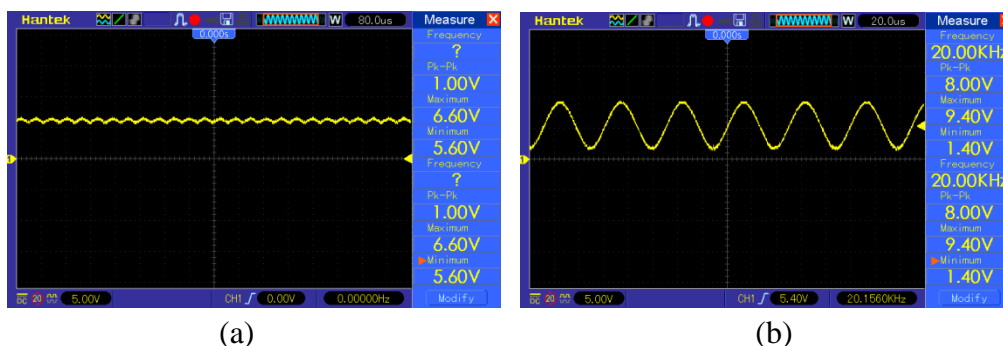
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perancangan dan pengujian rangkaian *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO) berbasis IC XR-2206 sebagai pembangkit sinyal eksitasi diperoleh bahwa frekuensi minimum yang dapat dibentuk adalah 3 KHz dan frekuensi maksimum yang dapat dibentuk mencapai 88.49 KHz. Hasil pengujian frekuensi yang dapat dicapai rangkaian VCO dengan menggunakan osiloskop ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengujian Frekuensi yang dapat dicapai VCO hasil perancangan :  
a) Frekuensi minimum, dan b) Frekuensi Maksimum

Dari Gambar 6 dapat dilihat dengan jelas bahwa sinyal keluaran yang dibangkitkan VCO hasil perancangan menghasilkan tegangan DC *offset* sebesar 1.40 V dan tegangan *peak-to-peak* 8.00  $V_{pp}$  pada frekuensi 3 KHz dan menghasilkan DC *offset* sebesar 1.60 V dengan tegangan *peak-to-peak* 7.60  $V_{pp}$  pada frekuensi 88.49 KHz. Tegangan DC *offset* ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata sinyal berada di atas titik referensi nol. Hal tersebut juga dapat dilihat dari posisi sinyal AC yang dibentuk hanya berada pada sumbu-Y positif. Hal ini disebabkan oleh penggunaan sumber tegangan ke rangkaian VCO yang dibangun menggunakan IC XR-2206 hanya menggunakan tegangan DC positif (+12 Vdc). Berdasarkan hasil pengujian frekuensi, VCO yang telah dibangun dapat dijadikan sebagai pembangkit tegangan eksitasi dalam sistem EIT dengan rentang frekuensi mulai 10 KHz hingga 88.49 KHz. Selanjutnya hasil pengujian tegangan *peak-to-peak* yang dapat dicapai VCO hasil perancangan ditunjukkan pada Gambar 7.



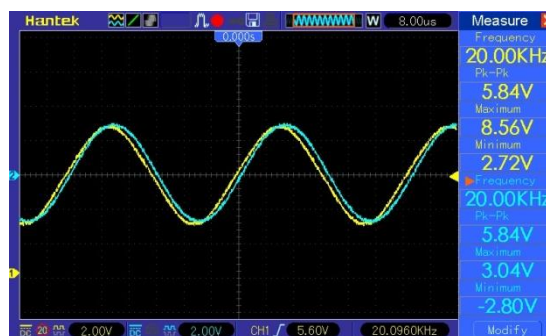
Gambar 7. Hasil pengujian Tegangan *peak to peak* ( $V_{pp}$ ) yang dapat dicapai VCO hasil perancangan : a)  $V_{pp}$  minimum, dan b)  $V_{pp}$  Maksimum

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa rangkaian VCO yang dibangun dapat membangkitkan sinyal gelombang berbentuk sinusoidal dengan tegangan *peak-to-peak* minimum sebesar  $1.00 V_{pp}$  dan tegangan *peak-to-peak* maksimum sebesar  $8.00 V_{pp}$ . Tabel rangkuman hasil pengujian frekuensi dan tegangan *peak-to-peak* yang dapat dicapai oleh rangkaian VCO hasil perancangan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman Hasil Pengujian Frekuensi dan Tegangan Peak-to-Peak VCO Berbasis XR-2206

Parameter	Minimum		Maksimum		Satuan
Frekuensi	3.004		88.49		KHz
Tegangan <i>peak-to-peak</i>	1		8		Volt
	Min	Maks	Min	Maks	
	5.60	6.60	1.40	9.40	

Selanjutnya, dilakukan kalibrasi rangkaian VCO yang telah dibangun dengan membandingkan sinyal keluarannya dengan sinyal keluaran *Signal Generator* standar. Frekuensi yang ditetapkan pada proses kalibrasi ini adalah sebesar 20 KHz. Sehingga pada tahap ini sinyal dari keluaran rangkaian VCO dan dan sinyal keluaran dari *Signal Generator* standar dikondisikan pada frekuensi eksitasi 20 KHz. Selanjutnya sinyal keluaran dari keduanya diamati dengan menggunakan osiloskop. Hasil kalibrasi keluaran sinyal rangkaian VCO terhadap sinyal keluaran *Signal Generator* standar ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Sinyal keluaran VCO yang bandingkan terhadap *Signal Generator* standar (sinyal keluaran VCO warna kuning dan sinyal keluar *Signal Generator* warna biru)

Dari hasil kalibrasi sinyal keluaran VCO terhadap sinyal keluaran *Signal Generator* standar yang dikondisikan pada frekuensi eksitasi 20 KHz dan tegangan *peak-to-peak*  $5.84 V_{pp}$ , didapatkan bahwa sinyal keluaran VCO memberikan respon sinyal yang serupa dengan sinyal keluaran *Signal Generator* standar. Namun, sebagaimana yang diamati dalam pengujian, bahwa rangkaian VCO yang dirancang menunjukkan adanya tegangan DC *offset* yang disebabkan oleh penggunaan sumber tegangan +12 Vdc. Oleh karena itu, dalam perancangan VCO yang berbasis IC XR-2206, disarankan untuk mengintegrasikan keluaran rangkaian VCO dengan sebuah rangkaian filter aktif. Implementasi filter pada keluaran VCO dapat meningkatkan kestabilan amplitudo sinyal, konsistensi frekuensi dan menghasilkan sinyal yang simetris terhadap baseline (tanpa adanya DC *offset*).

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian rangkaian *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO) diperoleh hasil bahwa frekuensi sinyal yang dapat dibangkitkan oleh VCO berada pada rentang 3.00 KHz hingga 88.49 KHz. Mengacu pada nilai frekuensi eksitasi yang diperlukan untuk sistem *Electrical Impedance Tomography* (EIT) pada penerapan di bidang medis dan geofisika yang umumnya berada pada nilai frekuensi eksitasi 10 KHz hingga 1 MHz, maka VCO yang telah dirancang dapat dipergunakan sebagai sumber sinyal eksitasi pada nilai frekuensi dari 10 KHz hingga 88.49 KHz. Namun, berdasarkan hasil pengujian, ditemukan bahwa rangkaian VCO berbasis IC XR-2206 memiliki kelemahan yaitu sinyal keluaran yang dibangkitkan memiliki tegangan DC *offset*. Sehingga untuk mengatasi permasalahan ini, sangat disarankan penggunaan rangkaian filter pada keluaran rangkaian VCO yang berbasis IC XR-2206.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas limpahan pengetahuan, kesehatan serta kesempatan tak terhingga yang telah diberikan kepada peneliti sehingga dapat merampungkan penelitian serta tulisan ini.

## REFERENCES

- Bera, T. K. (2018). Applications of Electrical Impedance Tomography (EIT): A Short Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 331, 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/331/1/012004>
- Chitturi, V., & Farrukh, N. (2016). Development Of An Agilent Voltage Source For Electrical Impedance Tomography Applications. 11(5).
- Chitturi V., Farrukh N., Thiruchelvam V., and Fei T.K. (2014). A Low Cost Electrical Impedance Tomography (EIT) for Pulmonary Disease. *SDIWC*. ISBN:978-0-9891305-4-7.
- Gallardo N. V., García H. M. (2022). Electrical Impedance Tomography for Hand Gesture Recognition for HMI Interaction Applications. *Journal of Low Power Electronics and Applications*. <https://doi.org/doi.org/10.3390/jlpea12030041>
- Graham B.M., and Adler A. (2007). *Electrode Placement Configurations for 3D EIT*. *IoP. Physiological measurement*. 28 No 7.
- Hamilton, S. J., & Hauptmann, A. (2018). Deep D-Bar: Real-Time Electrical Impedance Tomography Imaging With Deep Neural Networks. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 37(10), 2367–2377. <https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2828303>
- Khalighi M., Vahdat B.V., Mortazavi M., and Mikaeili M. (2014). Design and Implementation of Precise Hardware for Electrical Impedance Tomography (EIT). *IJST.Transactions of Electrical Engineering*. Vol. 38. No. E1, pp 1–20.
- Moro L. C., Porto R. W. (2015). Single Frequency Electrical Impedance Tomography System with Offline Reconstruction Algorithm. *IEEE 6th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS 2015)*. <https://doi.org/10.1109/LASCAS.2015.7250469>
- Nascimento, M. S., Alcalá, G. C., Guzman, A. I. A., Corrêa, L. C., Baggio, D. M., Rossi, F. S., Fascina, L. P., Amato, M. B. P., & do Prado, C. (2021). Electrical impedance tomography in pediatric patients with COVID-19, the first reports. *BMC Pulmonary Medicine*, 21(1), 357. <https://doi.org/10.1186/s12890-021-01716-y>

- Pasha M., Kupis S., Ahmad S., Khan T. (2021). *A Krylov Subspace Type Method For Electrical Impedance Tomography*. ESAIM: Mathematical Modelling and Numerical Analysis. <https://doi.org/doi.org/10.1051/m2an/2021057>
- Rymarczyk T., Szulc K. (2017). *Reconstruction of conductivity distribution in electrical impedance tomography by topological derivative*. 18th International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering (ISEF).1–2.
- Sapuan I., Ain K., Suryanto A. (2017). Dual frequency electrical impedance tomography to obtain functional image. IOP Conf. Series: Journal of Physics:International Conference on Physical Instrumentation and Advanced Materials. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/853/1/012002>
- Sarode V., Chimurkar P.M., and Cheeran A.N. (2012). *Electrical Impedance Tomography using EIDORS in a Closed Phantom*. International Journal of Computer Applications.48– No.19.
- Sebu, C. (2017). Electrical Impedance Mammography: The key to low-cost, portable and non-invasive breast cancer screening. Xjenja Online, 2, 154–157. <https://doi.org/10.7423/XJENZA.2017.2.09>
- Shinde S. M., Kamat D. K. (2013). A general view of Electrical impedance tomography in varieties of applications. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Vol. 2 Issue 9.
- Singh G., Anand S., Lall B., Srivastava A., and Singh V. (2012). Development of a Microcontroller based Electrical Impedance Tomography System. Long Island Systems, Applications and Technology.IEEE..
- Teschner E., Imhoff M., Leonhardt S. (2013). *Electrical Impedance Tomography: The realisation of regional ventilation monitoring 2nd edition*. Drager.Technology for life.
- Trigo F.C., Lima G.Z., and Amato M.B.P. (2004). Electrical Impedance Tomography Using the Extended Kalman Filter. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Vol. 51, no. 1.
- Umbu, A. B. S. (2022). Rancangan Bangun Voltage-Controlled Oscillator (VCO) Untuk Sistem Elektrical Impedance Tomography (EIT) Frekuensi Tunggal 20 KHz. *Technologia : Jurnal Ilmiah*, 13(4), 326. <https://doi.org/10.31602/tji.v13i4.7990>
- Umbu, A. B. S. (2022). Rancangan Bangun Sistem Pengaturan Alur Injeksi Arus dan Pengukuran Tegangan Untuk Sistem Elektrical Impedance Tomography. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 6(2), 111-118. <https://doi.org/10.37478/optika.v6i2.2068>
- Wu J., Chen X., Ding Z. (2013). *Digital Biomedical Electrical Impedance Tomography Used on FPGA*. Journal of Biosciences and Medicines.1, 14–18.