

RANCANG BANGUN SISTEM PENGATUR ALUR INJEKSI ARUS DAN PENGUKURAN TEGANGAN UNTUK SISTEM ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY

Ari Bangkit Sanjaya Umbu

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

e-mail: aribangkit.sanjaya@gmail.com

ABSTRAK

Electrical impedance tomography (EIT) merupakan salah satu teknik rekonstruksi citra. Sistem EIT memperkirakan distribusi konduktivitas melalui pengukuran tegangan pada permukaan objek. Proses rekonstruksi citra dilakukan dengan menginjeksikan arus yang akurat ke dalam objek, mengukur tegangan di sekitar objek, dan kemudian memproses data yang diperoleh. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain blok pengatur alur injeksi arus dan pengukuran tegangan. Blok rangkaian ini tersusun atas dua bagian yaitu bagian A merupakan sistem pengatur alur injeksi arus dan bagian B merupakan sistem pengatur pengukuran tegangan. Pengujian kedua rangkaian tersebut menggunakan Arduino Due sebagai pengatur logika pada kedua bagian tersebut. Pengaturan logika pola injeksi dan pola pengukuran tegangan mengacu pada metode tetangga (*Neighboring Method*). Pengujian bagian A (pengatur alur injeksi arus) digunakan sumber arus konstan sebesar 1 mA sebagai masukan dan keluarannya diukur dengan menggunakan amperemeter. Pada pengujian bagian B (pengatur pola pengukuran tegangan) digunakan sebuah *signal generator* sebagai sumber tegangan masukan dengan nilai 0.25 Volt hingga 4 Volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang dapat berfungsi dengan baik untuk mengatur alur injeksi arus dan alur pengukuran tegangan untuk sistem EIT.

Kata Kunci: *Electrical Impedance Tomography (EIT), rekonstruksi, konduktivitas, arus, tegangan*

ABSTRACT

Electrical impedance tomography (EIT) is one of the image reconstruction techniques. The electrical conductivity distribution is reconstructed based on voltage measurements from the surface of the object. The image reconstruction process is done by injecting an accurate current into the object, measuring the voltage around the object, and then processing on acquired data. In this research, we have focused on the design of the current injection flow control and voltage measurement flow control. This research aims to design a control block for the flow of current injection and voltage measurement. This circuit block is composed of two parts, namely part A which is a flow control current injection and part B is a flow control voltage measurement. Testing the two circuits using Arduino Due as a logic controller in both parts. The setting of current injection pattern and the voltage measurement pattern is set with reference to the neighbouring method. Testing part A used a constant current source of 1 mA as input and the output was measured using an ammeter. Testing part B used a signal generator as an input voltage source with a value of 0.25 Volts to 4 Volts. The results

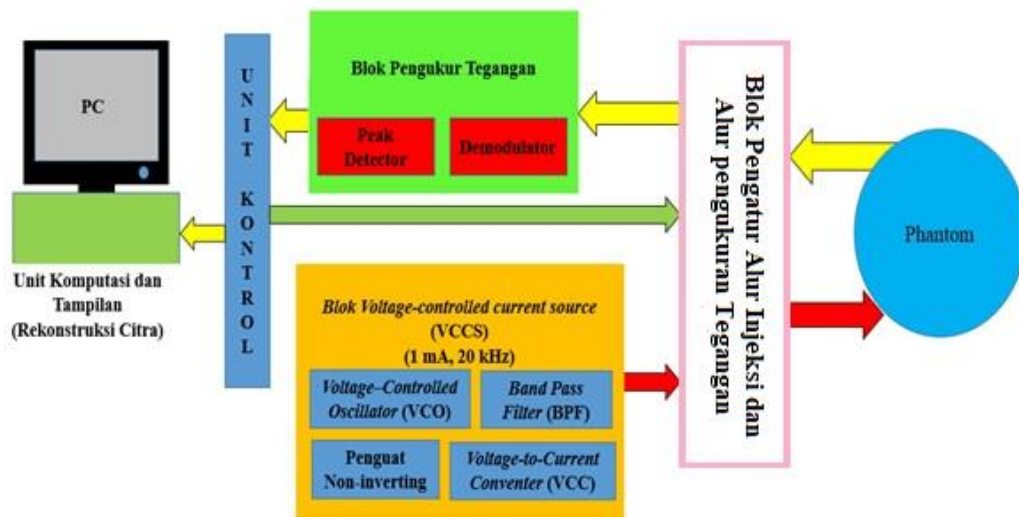
showed that the designed system can function properly to regulate the current injection path and voltage measurement path for the EIT system.

Keywords: *Electrical impedance tomography (EIT), reconstruction, conductivity, current, voltage*

PENDAHULUAN

Electrical impedance tomography (EIT) merupakan salah satu teknik citra yang didasarkan pada distribusi konduktivitas suatu objek (Khalighi et al., 2014, Gallardo and García., 2022) IT sering diaplikasikan pada beberapa bidang, seperti medis, industri dan geofisika (Shinde and Kamat., 2013, Pasha *et al.*, 2021). Pada bidang medis, EIT telah diaplikasikan untuk pemantauan pengosongan lambung, pemantauan fungsi paru-paru, fungsi jantung, fungsi saraf, kuantitas air pada paru-paru serta mendeteksi kanker payudara (Teschner *et al.*, 2013). Pada bidang industri, EIT sering diaplikasikan untuk mendeteksi distribusi udara, adanya gelembung udara, atau retakan pada pipa (Bryan *et al.*, 1993). Sedangkan pada bidang geofisika, EIT dapat diaplikasikan untuk memberikan informasi estimasi saturasi dari reservoir dan pengukuran kandungan mineral dalam bumi.

Secara umum sistem *Electrical Impedance Tomography* (EIT) tersusun atas lima blok rangkaian yaitu blok *Voltage-controlled current source* (VCCS), blok pengatur alur injeksi dan pengukur beda potensial (tegangan), blok pengukur tegangan, unit kontrol dan unit komputasi (tampilan). Keseluruhan blok rangkaian tersebut saling terintegrasi dengan fungsi dan perannya masing-masing dalam sistem EIT. Hasil pengukuran pada sistem EIT sangat bergantung pada kualitas kinerja dari setiap blok rangkaian penyusunnya. Diagram blok konfigurasi sistem EIT secara umum ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi sistem *Electrical Impedance Tomography* (EIT)

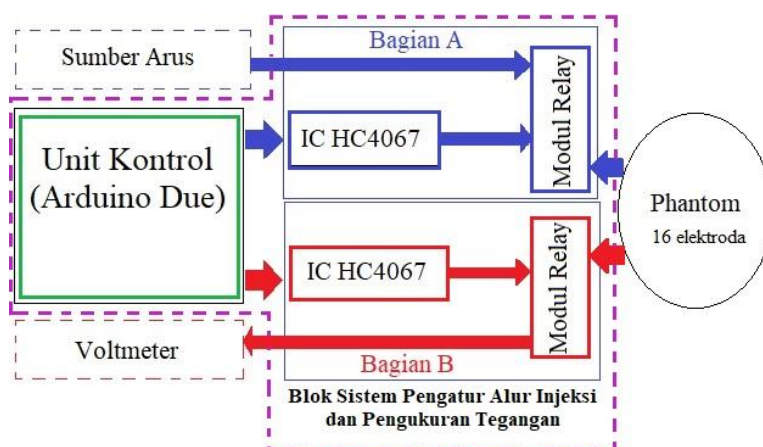
Teknik citra *Electrical Impedance Tomography* (EIT) memiliki kelebihan dibandingkan dengan teknik citra lainnya. Keunggulan teknik citra EIT diantaranya adalah biaya pembuatan yang relatif murah, sederhana, *portable*, dan tidak menimbulkan radiasi ionisasi pada tubuh. Aplikasi EIT di bidang geofisika dan medis menggunakan frekuensi yang berada pada rentang dispersi beta yaitu 10 KHz – 10 MHz dan arus berada pada rentang 1-10 mA

(Chitturi *et al.*, 2014, Graham and Adler., 2007). Distribusi konduktivitas pada suatu objek diperoleh dengan cara menginjeksikan arus listrik lemah pada suatu objek melalui sepasang elektroda dan beda potensial (tegangan) diukur melalui pasangan elektroda lainnya (Trigo *et al.*, 2004, Rymarczyk and Szulc., 2017, Sapuan *et al.*, 2017). Selanjutnya data pengukuran yang diperoleh digunakan untuk proses rekonstruksi citra distribusi konduktivitas pada objek. Pengukuran tersebut didasarkan pada sifat kelistrikan dari objek (material) (Sarode *et al.*, 2012). Hasil akhir dari teknik ini bergantung pada kemampuan sistem perangkat instrumentasi atau perangkat keras untuk menghasilkan data yang akurat. Sedangkan kualitas rekonstruksi sangat bergantung pada akurasi data yang diperoleh oleh sistem perangkat EIT dan algoritma rekonstruksinya (Moro, 2015, Wu *et al.*, 2013).

Proses injeksi arus dan pengukuran tegangan pada sistem EIT diatur dengan menggunakan suatu blok pengatur alur injeksi arus dan pengukur tegangan. Bagian ini sangat berperan penting untuk menghubungkan sistem EIT ke objek dan sebaliknya. Kualitas data yang dihasilkan juga sangat tergantung dari kinerja blok rangkaian ini. Oleh karena itu pada penelitian dan tulisan ini penulis berfokus pada perancangan dan pembahasan terkait blok pengatur alur injeksi arus dan pengukuran tegangan untuk sistem electrical impedance tomography (EIT).

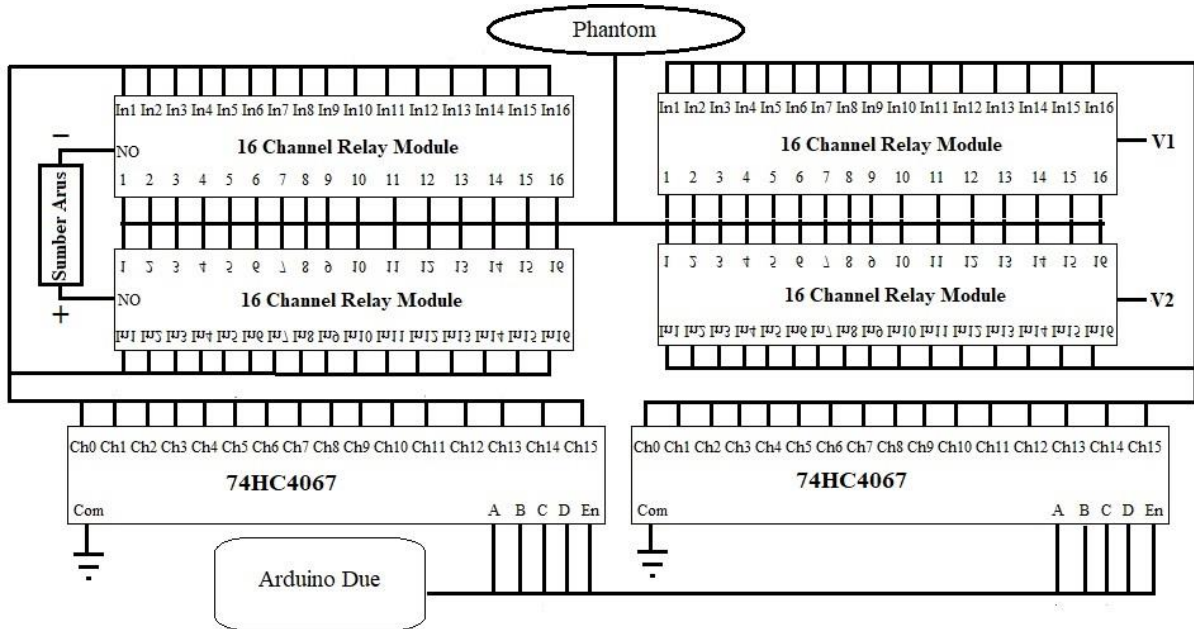
METODE

Sistem yang dirancang pada penelitian ini adalah sistem yang berfungsi sebagai pengatur alur injeksi arus dari blok rangkaian sumber arus (*voltage-controlled current source* (VCCS)) menuju ke elektroda dan pengatur alur pengukuran tegangan yang menuju ke blok rangkaian pengukuran tegangan (voltmeter) pada sistem electrical impedance tomography (EIT). Secara garis besar sistem yang dirancang ini dibagi atas dua bagian yaitu bagian A merupakan sistem pengatur alur injeksi arus dan bagian B merupakan sistem pengatur pengukuran tegangan (beda potensial). Sistem ini dibangun dengan menggunakan empat modul relay 8 channel, dua modul IC 74HC4067 dan sebuah unit kontrol (Arduino Due). Diagram blok sistem pengatur alur injeksi dan pengukuran tegangan untuk sistem EIT ditunjukkan pada Gambar 1.



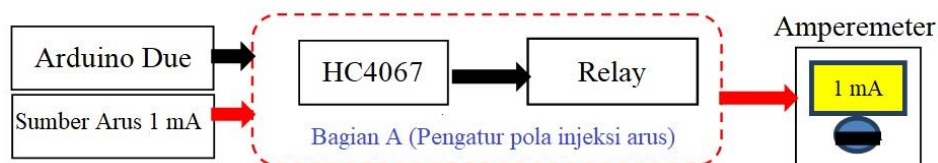
Gambar 1. Diagram blok sistem pengatur alur injeksi dan pengukuran tegangan untuk sistem EIT (Ditandai warna ungu tebal putus-putus)

Setelah rangkaian pada bagian A (Pengatur alur injeksi arus) dan B (Pengatur alur pengukuran tegangan) selesai dirancang seperti skema rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 2 selanjutnya dilakukan pengujian pada dua bagian tersebut. Pengujian kedua rangkaian tersebut menggunakan Arduino Due sebagai pengatur logika pada kedua bagian tersebut untuk mengatur alur injeksi dan pengukuran tegangan serta menjadi penghubung antara blok rangkaian pada sistem EIT.



Gambar 2. Rangkaian sistem pengatur pola injeksi arus dan pengukuran tegangan

Pengaturan pola injeksi dan pola pengukuran tegangan diatur dengan mengacu pada metode tetangga (*Neighboring Method*) (Russo *et al.*, 2017, Zarkasi *et al.*, 2017). Pada pengujian bagian A (Pengatur alur injeksi arus) digunakan sumber arus konstan sebesar 1 mA sebagai masukan dan keluarannya diukur dengan menggunakan amperemeter. Pemilihan nilai arus tersebut mengacu pada nilai arus pada sistem EIT. Kondisi logika pada IC 74HC4067 diatur “0” atau “1” pada masing-masing pin kontrol masukan (A,B,C,D) dan pin Enable(*E*) diatur dengan dengan logika “0”. Pin Enable (*E*) diatur dengan dengan logika “0” karena IC 74HC4067 yang digunakan bersifat *active low* yang berarti IC ini aktif pada kondisi logika *low* atau “0”. Pengaturan logika pada pin kontrol masukan (A,B,C,D) tersebut dilakukan dengan mengacu pada tabel kebenaran IC 74HC4067 dan pengaturan ini dilakukan melalui program yang diupload ke Arduino Due sebagai unit kontrol. Skema pengujian bagian A (Pengatur alur injeksi arus) ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengujian bagian A (Pengatur alur injeksi arus)

Pada pengujian bagian B (Pengatur pola pengukuran tegangan) digunakan sebuah *signal generator* sebagai sumber tegangan masukan. Nilai tegangan masukan divariasikan

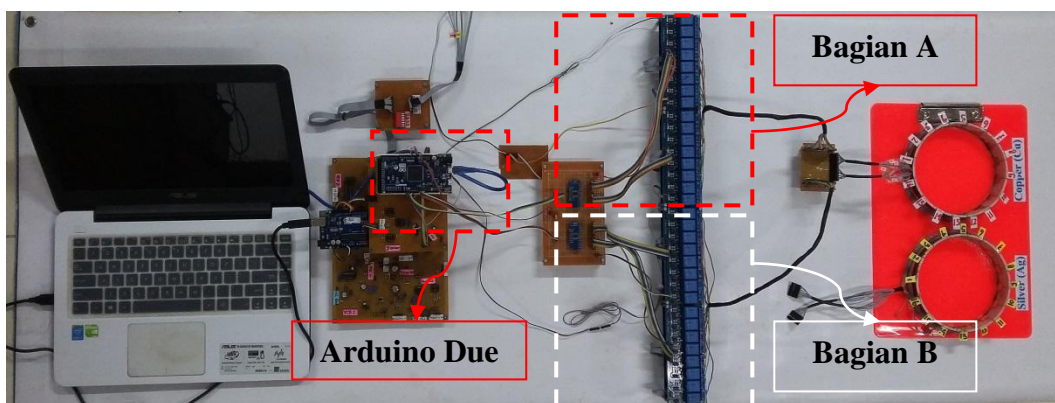
dari nilai 0.25 Volt hingga 4 Volt dengan nilai kenaikan 0.25 Volt untuk setiap channel kemudian keluarannya diukur menggunakan Osiloskop. Skema pengujian bagian B (Pengatur alur Pengukuran tegangan) ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema pengujian bagian B (Pengatur alur pengukuran tegangan)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum sistem yang dirancang tersusun atas dua bagian yaitu bagian pengatur alur injeksi arus dan bagian pengatur alur pengukuran tegangan. Sistem yang telah dirancang ini merupakan salah bagian penting pada sistem *Electrical Impedance Tomography* (EIT) sehingga dalam perancangan yang telah dilakukan mengacu pada kebutuhan sistem EIT. Hasil rancang bangun sistem pengatur alur injeksi arus dan pengukuran tegangan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil rancang bangun sistem pengatur alur injeksi arus dan pengukuran tegangan untuk sistem EIT

Setelah dilakukan perancangan selanjutnya dilakukan pengujian pada sistem yang telah dibangun. Pengujian pertama dilakukan pada bagian A dengan mengacu pada skema pengujian Gambar 3. Pada sistem EIT bagian ini bertugas untuk mengatur alur injeksi arus 1 mA dari sistem EIT ke phantom (elektroda). Hasil pengujian bagian A (Pengatur alur injeksi arus) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian bagian A (Pengatur alur injeksi arus)

Masukan (mA)	Kontrol input (1 / 0) IC HC4067				Enable input (E)	Relay ke- (aktif)	Keluaran (mA)
	A	B	C	D			
1	0	0	0	0	0	1	1
	1	0	0	0	0	2	1
	0	1	0	0	0	3	1
	1	1	0	0	0	4	1
	0	0	1	0	0	5	1
	1	0	1	0	0	6	1
	0	1	1	0	0	7	1
	1	1	1	0	0	8	1
	0	0	0	1	0	9	1
	1	0	0	1	0	10	1
	0	1	0	1	0	11	1
	1	1	0	1	0	12	1
	0	0	1	1	0	13	1
	1	0	1	1	0	14	1
	0	1	1	1	0	15	1
	1	1	1	1	0	16	1

Selanjutnya dilakukan pengujian bagian B (Pengatur alur pengukuran tegangan) yang berfungsi mengatur alur pengukuran tegangan dari phantom (elektroda) ke sistem EIT. Hasil pengujian bagian B dengan variasi tegangan masukan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian B (Pengatur alur pengukuran tegangan)

Kontrol input (1 / 0) IC HC4067				Enable input (E)	Relay ke- (aktif)	Masukan (V)	Keluaran (V)
A	B	C	D				
0	0	0	0	0	1	0.25	0.25
1	0	0	0	0	2	0.5	0.5
0	1	0	0	0	3	0.75	0.75
1	1	0	0	0	4	1	1
0	0	1	0	0	5	1.25	1.25
1	0	1	0	0	6	1.5	1.5
0	1	1	0	0	7	1.75	1.75
1	1	1	0	0	8	2	2
0	0	0	1	0	9	2.25	2.25
1	0	0	1	0	10	2.5	2.5
0	1	0	1	0	11	2.75	2.75
1	1	0	1	0	12	3	3
0	0	1	1	0	13	3.25	3.25
1	0	1	1	0	14	3.5	3.5
0	1	1	1	0	15	3.75	3.75
1	1	1	1	0	16	4	4

Dari kedua tabel di atas dapat dilihat bahwa semua jalur pada bagian A berfungsi dengan baik untuk mengatur alur injeksi arus dari sumber arus ke elektroda-elektroda pada wadah phantom tanpa adanya perubahan (penurunan) nilai arus. Sama halnya dengan bagian A dapat dilihat dari Tabel 2 bahwa semua jalur pada bagian B berfungsi dengan baik untuk sebagai penghubung dan pengatur alur pengukuran tegangan dari elektroda-elektroda pada wadah phantom ke blok rangkaian pengukur tegangan tanpa menyebabkan adanya penurunan nilai tegangan. Hal ini disebabkan karena kombinasi penggunaan IC 74HC4067 dan relay yang berfungsi dengan baik dalam mengatur pola injeksi arus maupun pola pengukuran tegangan.

Penggunaan relay dalam sistem ini memiliki kelebihan tidak mengubah besaran masukan karena hambatan yang dihasilkan relay sangat yang kecil sehingga kestabilan antara nilai variabel masukan dan nilai variabel keluarannya tetap dapat terjaga seperti yang dapat dilihat tabel pengujian. Hal ini penting dikarenakan kualitas rekonstruksi sistem EIT sangat tergantung pada kualitas data yang diperoleh (Brazey *et al.*, 2022). Penggunaan relay dalam sistem ini bukan tanpa masalah. Kelemahan piranti elektromekanikal ini terletak pada ketidakmampuannya untuk mendukung sistem EIT kecepatan tinggi (*High-speed Electrical Impedance Tomography System*). Sebagai gantinya untuk sistem EIT dengan kecepatan tinggi dapat digunakan IC multiplekser ADG1606 yang dapat mendukung waktu *switching* hingga 143 ns (Russo *et al.*, 2017).

PENUTUP

Telah berhasil dirancang sistem pengatur alur injeksi arus dan alur pengukuran tegangan untuk sistem EIT. Sistem yang dirancang berhasil melakukan fungsinya untuk mengatur alur injeksi arus maupun alur pengukuran tegangan tanpa adanya perubahan-perubahan antara masukan maupun keluaran pada nilai variabel-variabel tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem ini dapat digunakan sebagai pengatur alur injeksi arus dan pengukuran tegangan untuk sistem EIT dua dimensi (2D-EIT) maupun sistem EIT tiga dimensi (3D-EIT). Namun perlu menjadi catatan bahwa sistem ini hanya dapat digunakan untuk sistem EIT dengan kecepatan rendah. Untuk penerapan pada sistem EIT dengan kecepatan tinggi (*High-speed Electrical Impedance Tomography System*) disarankan untuk menggunakan IC ADG1606 sebagai pengatur pola injeksi arus dan pengukuran tegangan sebagai pengganti kombinasi IC 74HC4067 dan relay.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala hikmat dan pengetahuan yang telah dianugerahkan kepada penulis sehingga penelitian dan tulisan ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Brazey B., Haddab Y., Nabil Zemit N., 2022. Robust imaging using electrical impedance tomography: review of current tools. The Royal Society Publishing. <https://doi.org/doi.org/10.1098/rspa.2021.0713>
- Bryan K., Liepa V., Vogelius M., 1993. Reconstruction Of Multiple Cracks From Experimental Electrostatic Boundary Measurements. ICASE Report No. 93-96 NASA.

- 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.
- 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. 2015 IEEE 6th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS 2015). <https://doi.org/10.1109/LASCAS.2015.7250469>
- 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>
- Russo S., Meziani S. N., Carbonaro N., Tognetti A., 2017. Development of a High-Speed Current Injection and Voltage Measurement System for Electrical Impedance Tomography-Based Stretchable Sensors.
- Rymarczyk T., Szulc K., 2017. Reconstruction of conductivity distribution in electrical impedance tomography by topological derivative. 2017 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.
- 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.
- 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.
- Wu J., Chen X., Ding Z., 2013. Digital Biomedical Electrical Impedance Tomography Used on FPGA. *Journal of BIOSciences and Medicines* 1, 14–18.
- Zarkasi A., Abdurrouf, Santoso D. R., 2017. Teknik Pencitraan 2D Distribusi Impedansi Listrik pada Zat Cair dengan Metode Berpasangan dan Menggunakan Software EIDORS. *NATURAL B* Vol. 4, No. 1.