

## RANCANG BANGUN *VOLTAGE-CONTROLLED OSCILLATOR* (VCO) UNTUK SISTEM *ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY* (EIT) FREKUENSI TUNGGAL 20 KHz

Ari Bangkit Sanjaya Umbu

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

email: aribangkit.sanjaya@gmail.com

### Abstrak

*Electrical impedance tomography* (EIT) merupakan salah satu metode citra yang didasarkan pada distribusi konduktivitas listrik pada suatu objek. Hasil rekonstruksi citra dengan teknik EIT sangat bergantung pada kemampuan sistem instrumentasinya (*hardware*) untuk menghasilkan data yang akurat. Salah satu bagian penting dalam membangun sistem EIT adalah sumber sinyal bolak balik yang biasa disebut *Voltage-controlled oscillator* (VCO). Pada penelitian ini dirancang VCO untuk sistem EIT frekuensi tunggal 20 KHz dengan menggunakan modul IC *function generator* AD9850, Arduino uno R3 dan IC Op-Amp AD844. Berdasarkan pengujian dan analisis rangkaian VCO yang telah dilakukan diperoleh bahwa sistem yang dibangun memiliki kemampuan sebagai sumber sinyal bolak-balik untuk sistem EIT frekuensi tunggal 20 KHz.

**Keywords :** *frekuensi, electrical impedance tomography (EIT), voltage-controlled oscillator (VCO)*

### 1. PENDAHULUAN

*Electrical Impedance Tomography* (EIT) merupakan salah satu teknik pencitraan yang didasarkan pada distribusi konduktivitas listrik suatu objek [1] [2]. Distribusi konduktivitas listrik dari suatu objek diperoleh dengan jalan menginjeksikan arus listrik melalui sepasang elektroda kemudian selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan pada pasangan elektroda lainnya [3] [4].

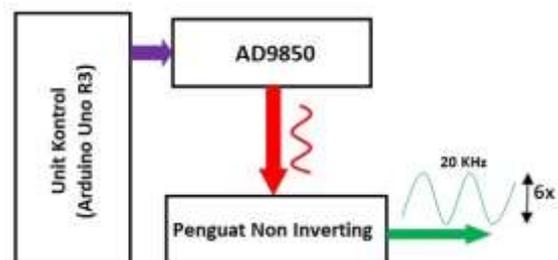
EIT sering diaplikasikan pada beberapa bidang, seperti medis, industri dan geofisika. Pada aplikasi EIT di bidang geofisika dan medis frekuensi yang diperbolehkan berada pada rentang dispersi beta yaitu 10 KHz – 10 MHz dan arus berada pada rentang 1-10 mA [5][6]. Teknik pencitraan dengan EIT memiliki kelebihan dibandingkan dengan teknik pencitraan lainnya. Keunggulannya adalah biaya yang relatif murah dalam pembuatannya, sederhana, *portable*, dan tidak menimbulkan radiasi ionisasi pada tubuh [7].

Sebagian besar sistem EIT dibangun menggunakan perangkat yang menghasilkan sinyal sinusoidal (Tegangan bolak-balik) sebagai sumber eksitasi. Salah satu bagian penting dalam perancangan sistem EIT frekuensi tunggal adalah sumber sinyal tegangan bolak-balik yang dapat menghasilkan

sinyal murni dan stabil [5]. Tegangan bolak-balik dapat dihasilkan dari perangkat *Signal Generator* yang tersedia secara komersial atau menggunakan sebuah rangkaian *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO) yang dapat dibangun [5]. Pada penelitian ini penulis berfokus pada perancangan *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO).

### 2. METODE PENELITIAN

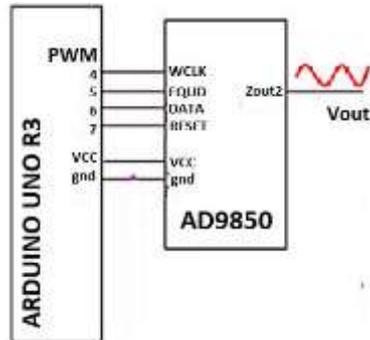
*Voltage-controlled oscillator* (VCO) yang dirancang pada penelitian ini adalah VCO untuk sistem EIT frekuensi tunggal 20 KHz. Diagram blok dari keseluruhan sistem VCO yang dibangun ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok sistem VCO

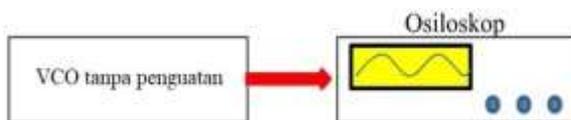
VCO yang dibangun terdiri atas tiga komponen utama yaitu modul IC *function generator* AD9850, Arduino uno R3 dan IC Op-Amp AD844. Pada tahap awal dilakukan

perancangan VCO tanpa penguatan dengan menghubungkan Arduino Uno R3 dengan Modul IC AD9850. Skema rangkaian VCO tanpa penguatan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema rangkaian VCO tanpa penguatan

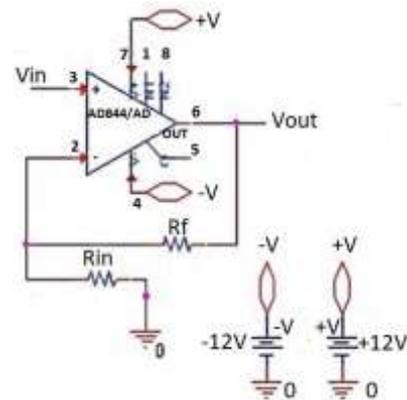
Frekuensi keluaran dari bagian ini diatur dengan nilai 20 KHZ melalui program pada Arduino Uno. Tahapan ini bertujuan untuk melihat seberapa besar tegangan yang dapat dihasilkan pada bagian ini. Pengujian pada tahapan ini dilakukan dengan menghubungkan VCO tanpa penguatan tersebut dengan osiloskop. Skema pengujian VCO tanpa penguatan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengujian VCO tanpa penguatan

Selanjutnya dilakukan perancangan rangkaian penguat tegangan. Perancangan bertujuan untuk menguatkan sinyal sinusoidal yang telah dihasilkan oleh rangkaian sebelumnya (VCO tanpa penguatan). Sinyal dikuatkan dengan menggunakan penguat tegangan tak membalik (*Non-inverting*). Gambar rangkaian penguat tegangan tak membalik (*Non-inverting*) ditunjukkan pada Gambar 4.

Nilai penguatan yang ditetapkan pada penelitian ini sebesar 6 kali dan nilai hambatan pada input ( $R_{in}$ ) ditetapkan sebesar 2 K $\Omega$  sehingga untuk menentukan nilai hambatan *feedback* ( $R_f$ ) yang diperlukan untuk menghasilkan nilai penguatan sebesar 6 kali dapat dihitung menggunakan persamaan 1.



Gambar 4. Rangkaian *Non-Inverting*

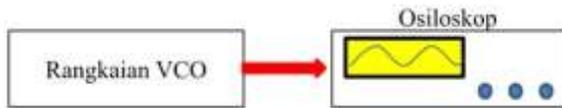
$$R_f = \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} - 1 \right) R_{in} \quad (1)$$

Setelah dilakukan pembuatan rangkaian penguat, kemudian dilakukan pengujian dengan memvariasikan nilai sinyal (tegangan) masuk dengan menggunakan *signal generator* sebagai sumber sinyal (tegangan) masukan dan keluaran dari rangkaian penguat dihubungkan dengan osiloskop. Skema pengujian rangkaian penguat ditunjukkan pada Gambar 5.



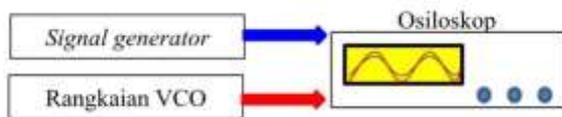
Gambar 5. Skema pengujian rangkaian penguat non inverting

Pada tahap akhir dilakukan penggabungan rangkaian VCO tanpa penguatan dengan rangkaian penguat *Non-Inverting*. Selanjutnya dilakukan pengujian rangkaian VCO yang dilakukan dengan cara menghubungkan rangkaian yang telah dibangun dengan osiloskop. Pengujian ini bertujuan untuk dapat melihat berapa rentang frekuensi yang dapat dihasilkan oleh sistem yang telah dibangun. Sehingga penulis dan pembaca juga dapat melihat kemungkinan sistem untuk diterapkan pada aplikasi EIT dengan multi-frekuensi. Pada tahap awal pengujian sistem VCO keseluruhan dilakukan dengan cara memvariasikan nilai frekuensi. Skema pengujian rangkaian VCO dengan variasi frekuensi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema pengujian VCO

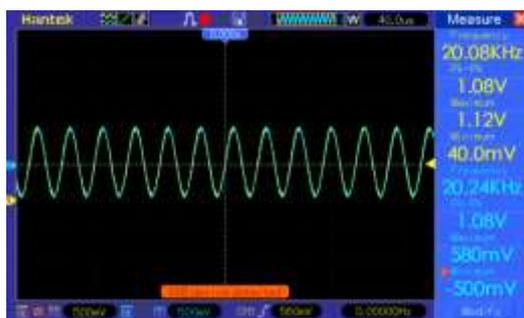
Pengujian akhir dilakukan kalibrasi VCO yang telah dirancang dengan menggunakan *Signal generator* dengan mengatur frekuensi sebesar 20 KHz. Tahapan ini bertujuan untuk melihat kesesuaian bentuk sinyal keluaran VCO yang telah dibuat bila dibandingkan dengan alat pembangkit sinyal AC standar (*Signal generator*). Skema kalibrasi VCO dengan *Signal generator* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema kalibrasi sinyal keluaran VCO dengan *Signal generator*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian rangkaian VCO tanpa penguatan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa sistem VCO tanpa penguatan yang dirancang dapat menghasilkan sinyal dengan tegangan *peak to peak* ( $V_{pp}$ ) sebesar 1.08 Volt. Dari hasil tersebut juga dapat dilihat bahwa sinyal keluaran VCO tanpa penguatan menghasilkan tegangan DC *offset* sebesar 0.5 Volt.



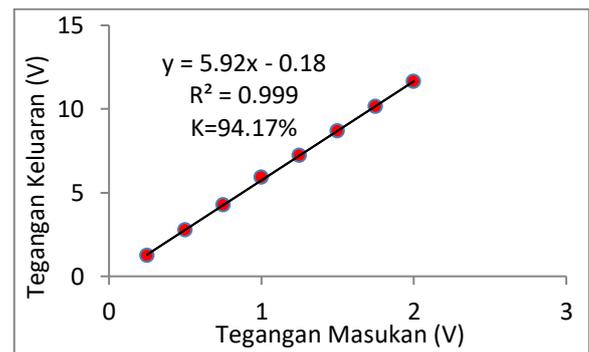
Gambar 8. Hasil Pengujian VCO tanpa Penguatan pada frekuensi 20 KHz

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 1 dengan menetapkan nilai penguatan sebesar 6 kali dan nilai hambatan pada input ( $R_{in}$ ) sebesar 2  $K\Omega$  diperoleh hasil perhitungan terhadap nilai hambatan *feedback*

( $R_f$ ) sebesar 10  $K\Omega$ . Setelah dilakukan perancangan rangkaian penguat berdasarkan nilai-nilai yang telah ditetapkan dan diperoleh. Selanjutnya dilakukan pengujian rangkaian penguat dengan menggunakan variasi tegangan masukan. Data hasil pengujian rangkaian penguat ditunjukkan pada Tabel 1 dan grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 9.

Tabel 1. Hasil pengujian rangkaian penguat tegangan *Non-Inverting*

Tegangan ( $V_{pp}$ )	
Masukan	Keluaran
0.25	1.24
0.50	2.76
0.75	4.24
1.00	5.92
1.25	7.22
1.50	8.68
1.75	10.14
2	11.64

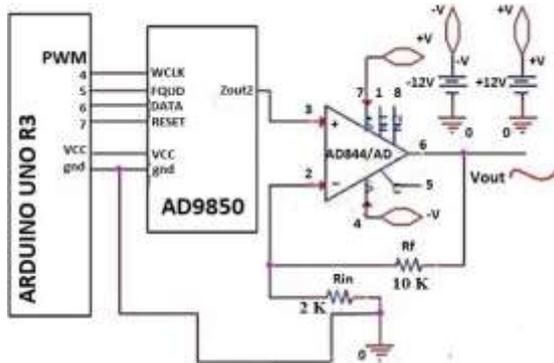


Gambar 9. Grafik hasil pengujian rangkaian penguat *Non-inverting* dengan variasi tegangan sinyal masukan

Dari hasil pengujian tersebut diperoleh nilai rata-rata penguatan tegangan keluaran. Hasil tersebut menunjukkan perbedaan nilai penguatan antara hasil perancangan dan hasil perhitungan sebesar 5.83% (Kesesuaian 94.17%). Hal ini dapat disebabkan karena penggunaan komponen pasif berupa resistor yang terkadang memiliki nilai yang tidak sesuai dengan nilai yang seharusnya sehingga hasil perancangan tidak dapat ideal seperti teorinya.

Selanjutnya dilakukan penggabungan antara rangkaian VCO tanpa penguat dengan rangkaian penguat *Non-Inverting*. Hasil

perancangan rangkaian VCO keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 10.

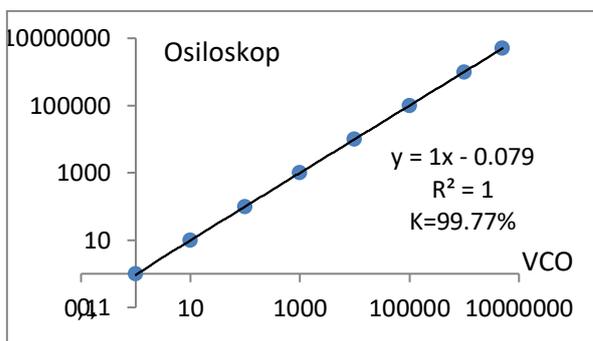


Gambar 10. Hasil perancangan rangkaian VCO

Hasil pengujian rangkaian VCO dengan variasi frekuensi pada Tabel 2 dan Gambar 11 menunjukkan kemampuan sistem dalam menghasilkan nilai frekuensi yang sesuai dengan nilai yang diprogramkan.

Tabel 2. Hasil pengujian VCO dengan variasi beberapa frekuensi (1 Hz- 5 MHz)

Frekuensi (Hz)	
Pengaturan pada VCO	Terbaca pada Osiloskop
1	0.98
10	9.88
100	99.62
1000	1000
10000	10000
100000	100000
1000000	1000000
5000000	5000000



Gambar 11. Grafik hasil pengujian VCO dengan variasi beberapa frekuensi (1 Hz- 5 MHz)

Presentasi kesesuaian antara nilai frekuensi yang diatur secara program dan yang terbaca di Osiloskop sebesar 99.77%. Dari

hasil pengujian tersebut dapat dilihat juga bahwa sistem VCO yang dibangun dapat digunakan untuk aplikasi EIT multi-frekuensi.

Pada tahap akhir dilakukan pengujian sistem VCO pada frekuensi tunggal 20 KHz. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan sinyal keluaran VCO dan sinyal keluaran pembangkit sinyal AC standar (*Signal Generator*). Sinyal keluaran VCO dan *Signal Generator* diatur pada frekuensi 20 KHz dan tegangan sebesar 6.40 Vpp kemudian keduanya dihubungkan dengan osiloskop. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Kalibrasi Sinyal keluaran VCO terhadap *Signal Generator* (warna kuning VCO dan biru *Signal Generator*)

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa sinyal keluaran VCO menghasilkan tegangan DC *offset* sebesar 3.12 V. Hal tersebut terjadi karena ketidakmampuan modul IC AD9850 untuk mengubah sinyal masukan DC menjadi sinyal AC tanpa DC *offset*. Namun permasalahan ini dapat diatasi dengan penambahan rangkaian *BandPass* filter didepan rangkaian VCO. Bila ditinjau berdasarkan kriteria frekuensi yang diperlukan sistem EIT untuk aplikasi Geofisika dan Medis, yaitu berada pada rentang 10 kHz – 1MHz, maka dapat dikatakan bahwa VCO yang dibangun telah dapat dipergunakan sebagai pembangkit sinyal osilasi untuk sistem EIT frekuensi tunggal 20 KHz. Selain itu berdasarkan pengujian dengan variasi frekuensi, menunjukkan sistem VCO yang telah dibangun juga memungkinkan untuk diterapkan pada sistem EIT multi-frekuensi.

#### 4. KESIMPULAN

Telah berhasil dirancang rangkaian *Voltage-controlled oscillator* (VCO) untuk

sistem EIT frekuensi tunggal 20 KHz dengan DC *offset* sebesar 3.12 V. Sehingga untuk menggunakan rangkaian VCO ini pada sistem EIT frekuensi tunggal 20 KHz diperlukan sebuah rangkaian *BandPass* filter. Rangkaian

filter tersebut ditempatkan di depan rangkaian VCO guna menghilangkan DC *offset* yang dihasilkan oleh VCO yang telah dibangun.

- [1] 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. Vol. 38. No. E1, pp 1–20.
- [2] Puspitasari A. J. and Endarko E. 2020. BAND-PASS FILTER CIRCUIT DESIGN FOR MULTI-FREQUENCY ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY SYSTEM. *J. Forum Nukl.*, vol. 13, no. 3, p. 13.
- [3] 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. Vol. 51, no. 1.
- [4] Sarode, V., Chimurkar, P.M., and Cheeran, A.N. 2012. Electrical Impedance

## 5. REFERENSI

- Tomography using EIDORS in a Closed Phantom. *International Journal of Computer Applications*, vol. 48– No.19.
- [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*.
- [6] Graham, B.M., and Adler. A. 2007. Electrode Placement Configurations for 3D EIT. *IoP. Physiological measurement*, vol. 28 No 7.
- [7] Singh, G., Anand, S., Lall, B., Srivastava, A., and Singh, V. 2015. Development of a Microcontroller based Electrical Impedance Tomography System. *2015 Long Island Systems, Applications and Technology.IEEE*.