

Perancangan dan Simulasi *Dielectric Resonator Oscillator* pada Frekuensi 3 GHz untuk Aplikasi Radar Cuaca

Agril Chairun Nisa¹, Sutrisno², Hanny Madiawati³, Yana Taryana⁴

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : agril.chairun.tkom18@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : sutrisno@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : hannymadiawati@polban.ac.id

⁴Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung 40135

E-mail : yanaty73@gmail.com

ABSTRAK

Dielectric Resonator Oscillator (DRO) merupakan sebuah alat yang penting, dan sangat dibutuhkan dalam system komunikasi *microwave* karna dapat menghasilkan faktor kualitas yang bernilai > 1000 , salah satu bentuk *system* yang memerlukan faktor kualitas > 1000 adalah radar cuaca yang bekerja pada frekuensi *S-Band*. Radar jenis ini tidak mudah mengalami *attenuasi*, tetapi membutuhkan tenaga maupun perangkat yang besar. Adapun komponen yang penting dalam melakukan perancangan system ini adalah dielektrik resonator yang berupa material piringan kecil dengan permitivitas yang tinggi dan *loss* yang rendah. Komponen aktif yang digunakan adalah *Bipolar Junction Transistor* dengan polarisasi NPN tipe transistor infineon BFP840ESD. Pada perancangan penyesuaian impedansi teknik yang digunakan adalah transformator $\lambda/4$ dimana teknik ini cocok untuk rangkaian yang berfrekuensi tinggi terutama pada orde giga. Dari hasil simulasi rangkain bias DC diperoleh nilai K yang sudah memenuhi syarat terjadinya osilasi $K < 1$ yaitu sebesar 0.442 dengan besar tegangan DC sebesar 10 V. *Output* daya *fundamental* pada frekuensi 3 GHz yang dihasilkan pada simulasi sebesar 10,351 dBm dan *phase noise* yang dihasilkan pada frekuensi 100 kHz yaitu sebesar -145.341 dBc/Hz.

Kata Kunci

S-Band, Dielectric Resonator Oscillator (DRO), Infineon BFP840ESD, Radar cuaca, Phase noise, transformator $\lambda/4$.

1. PENDAHULUAN

Osilator resonator dielektrik (DRO) banyak digunakan saat ini dalam aplikasi sistem komunikasi, peperangan elektronik, rudal, dan radar [1]. *Dielectric Resonance Oscillator* DRO adalah teknologi *Low Temperature Co-powered Ceramic* (LTCC) dimana proses keramik *multi-layer* yang cocok dengan biaya rendah, aplikasi *Radio Frequency* (RF) berkinerja tinggi dan lain-lain yang membutuhkan frekuensi osilator tinggi [3]. Misalnya saja pada suatu radar membutuhkan *local oscillator* atau pembangkit sinyal yang dapat bekerja pada frekuensi tinggi. Osilator yang didesain oleh rangkaian *lumped*, memiliki faktor kualitas (Q) yang kurang dari 1000. DRO dicirikan oleh kebisingan fase rendah, ukuran kompak, stabilitas frekuensi dengan suhu, kemudahan integrasi dengan sirkuit *MIC hybrid* lainnya, konstruksi sederhana dan kemampuan untuk menahan lingkungan yang keras [4].

Stabilitas osilator akan semakin baik jika nilai dari Q *factor* tinggi, terlebih digunakan pada komunikasi *microwave*, sehingga osilator yang di desain dengan rangkaian *lumped* kurang baik saat digunakan untuk komunikasi *microwave*, maka dari itu diperlukan penggunaan *dielectric resonator* yang memiliki kestabilan terhadap temperatur tinggi. *Dielectric*

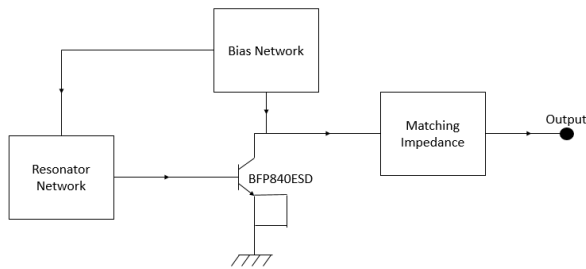
Resonator Oscillator yang dirancang bekerja pada frekuensi 3 GHz digunakan untuk pengamatan pengawasan cuaca jangka pendek maupun jangka panjang. Radar jenis ini tidak mudah mengalami *attenuasi*, tetapi membutuhkan tenaga maupun perangkat yang besar. Terdapat beberapa perbedaan *Dielectric Resonator Oscillator* yang dirancang dibandingkan dengan penelitian yang telah ada, mulai dari frekuensi kerja DRO yang dirancang sebesar 3 GHz, lalu komponen aktif yang digunakannya berupa transistor infineon BFP840ESD selain itu substrat yang digunakan FR4 dan pengaplikasiannya terhadap radar *S-Band*.

Osilator bekerja karena pengaruh resonansi dari komponen *dielectric resonator* yang merupakan piringan kecil dari permitivitas yang tinggi yang merupakan material dengan *loss* rendah dan komponen aktif berupa *Bipolar Junction Transistor* dengan polarisasi NPN tipe transistor infineon BFP840ESD. Perancangan penyesuaian impedansi yang dilakukan menggunakan teknik transformasi $\lambda/4$. Parameter-parameter penting dalam perancangan *dielectric resonator oscillator* berupa *output* daya *fundamental* yang diharapkan memiliki *output* ≥ 10 dBm dan juga

memiliki nilai *phase noise* yang sangat kecil dalam orde dBc/Hz.

2. PERANCANGAN

Komponen aktif yang digunakan dalam merancang *Dielectric Resonator Oscillator* berfrekuensi 3 GHz ini adalah *Bipolar Junction Transistor* dengan polarisasi NPN tipe transistor infineon BFP840ESD. Komponen ini di gunakan karna memiliki faktor kestabilan yang bernilai kurang dari 1 sehingga cocok digunakan untuk osilator yang harus memiliki nilai kestabilan dibawah 1 agar bersifat stabil bersyarat (*potentially unstable*).



Gambar 1. Blok Diagram DRO

2.1 Perancangan Rangkaian Resonator Feedback

Piringan dielektrik resonator dimodekan dengan rangkaian ekuivalen resonator RLC dengan metoda *feedback* parallel. Dan transformator digunakan untuk memodelkan *coupling* dan *microstrip line*.

Tabel 1. Spesifikasi Substrat

Keterangan	Nilai
Jenis <i>Microstrip</i>	FR4
Konstanta <i>Delectric</i> (ϵ_r)	4,7 mm
Tebal Konduktor (t)	0,035 mm
Tinggi Substrat (d)	1,6 mm
Faktor Disipasi (Tand d)	0,014

$$B = \frac{377 \pi}{2 \cdot Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

$$= 5,463$$

$$\frac{w}{d} = \frac{2}{\pi} [(B - 1) - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} [\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}]] \quad (2)$$

$$\frac{w}{d} = 1,820$$

$$W = 1,820 \times 1,6 \text{ mm}$$

$$W = 2,912 \text{ mm}$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (3)$$

$$= 100 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0,63(\epsilon_r - 1) \left(\frac{w}{d}\right)^{0,1255}} \right]^{0,5} \quad (4)$$

$$\lambda = 53,353 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda}{4} = 13,338 \text{ mm}$$

2.2 Perancangan Rangkaian Bias DC

Untuk dapat bekerja dengan aktif transistor memerlukan sebuah rangkaian bias, karna perhitungan pada rangkaian bias memastikan bahwa titik kerja transistor berada pada daerah yang aktif dan sesuai dengan kebutuhan perancangan. Berikut merukan parameter yang digunakan untuk merancang bias berdasarkan *datasheet* BFP840ESD.

Tabel 2. Spesifikasi data sheet transistor BFP840ESD

Keterangan	Nilai
I _c	5 mA
V _{CE}	2 V
V _{BE}	0,7 V
h _{fe}	200
R ₁	1,5 kΩ

Lakukan perhitungan menggunakan persamaan (5) dan (6) untuk mencari I_B dan I₁.

$$\beta = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \quad (5)$$

$$I_B = 0,025 \text{ mA}$$

$$I_1 = I_C + I_B \quad (6)$$

$$I_1 = 5,025 \text{ mA}$$

Kemudian untuk menghitung *loop base emitter* menggunakan persamaan 7.

$$V_{CC} - R_B \cdot I_B - R_1 \cdot I_1 - V_{BE} = 0 \quad (7)$$

$$70,5 \text{ k}\Omega = R_B$$

Lalu untuk mencari *loop collector-emitter* menggunakan persamaan 8.

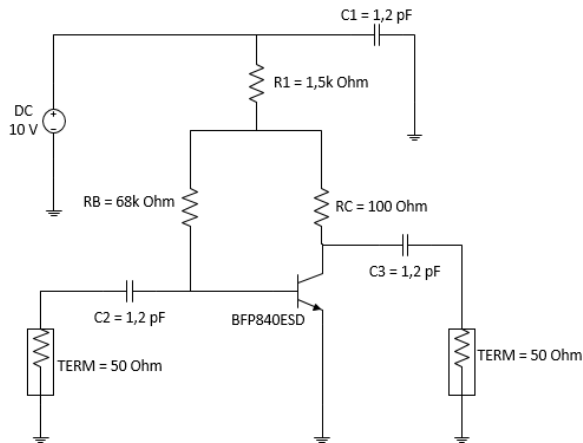
$$V_{CC} - R_C \cdot I_C - R_1 \cdot I_1 - V_{CE} = 0 \quad (8)$$

$$92,5 \Omega = R_C$$

Sehingga dari perhitungan diatas didapatkan nilai R₁, R₂, R₃.

Tabel 3. Nilai resistor pada rangkaian bias DC

Keterangan Resistor	Nilai
R ₁	1,5 kΩ
R _B	6,8 kΩ
R _C	100 Ω



Gambar 2. Skema elektronik rangkaian bias DC

Dari rangkaian diatas didapatkan hasil S-parameter seperti berikut :

Tabel 4. Hasil parameter-S pada rangkaian bias DC

$S_{11} = 0,713 \angle -56,010^\circ$	$S_{12} = 0,029 \angle 64,778^\circ$
$S_{21} = 6,387 \angle 133,201^\circ$	$S_{22} = 0,731 \angle -47,966^\circ$

2.3 Faktor Kestabilan Osilator

Syarat dari sebuah osilator adalah memiliki nilai kestabilan $K < 1$, jika tidak memenuhi syarat tersebut maka tidak akan terjadi osilasi yang diharapkan. Dalam mencari kestabilan osilator, maka di perlukan persamaan determinan dari parameter s untuk mendapatkan nilai Δ .

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (9)$$

$$\Delta = 0,515 \angle -83,405^\circ$$

Sehingga nilai K dapat diketahui dengan persamaan berikut.

$$K = \frac{1+|\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12}||S_{21}|} \quad (10)$$

$$K = 0,602$$

Kondisi kestabilan osilator sudah mencapai spesifikasi yaitu $K < 1$. Sebuah transistor dikatakan bekerja sebagai penguat apabila memiliki faktor kestabilan ≥ 1 sehingga transistor tersebut memiliki kondisi yang stabil mutlak (*unconditionally stable*). Apabila transistor tersebut memiliki faktor kestabilan < 1 , maka transistor tersebut memiliki kondisi stabil bersyarat (*potentially unstable*).

Transistor yang berada dalam kondisi stabil mutlak umumnya memiliki sifat sebagai penguat sinyal, sedangkan transistor stabil bersyarat (*potentially unstable*) dapat dibuat menjadi stabil tanpa syarat (*unconditionally stable*) dengan menambahkan resistor secara seri maupun paralel baik pada bagian *input* atau *output*.

2.4 Rancangan Rangkaian RFC (Radio Frequency Choke)

Lebar saluran transmisi 50 Ω telah di hitung pada persamaan 3-4 dengan nilai 15,1263 mm. lalu menghitung lebar saluran transmisi 100 Ω

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon r + 1}{2} + \frac{\epsilon r - 1}{\epsilon r + 1}} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon r}\right) \quad (11)$$

$$= 2,978$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A-2}} \quad (12)$$

$$\frac{w}{d} = 0,409$$

$$W = 0,654 \text{ mm}$$

Karena nilai $\frac{w}{d} \leq 1$ maka menggunakan persamaan 13 untuk mencari *eff*.

karena $\frac{w}{d} \leq 1$ maka menggunakan rumus

$$\text{eff} = \frac{\epsilon r + 1}{2} + \frac{\epsilon r - 1}{2} \left[1 + \frac{12d}{w}\right]^{-0,5} + 0,04 \left(1 - \frac{W}{d}\right)^2 \quad (13)$$

$$= 3,211$$

Dan gunakan persamaan 14 untuk mencari λ

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\text{eff}}} \quad (14)$$

$$\lambda = 55,799 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda}{4} = 13,949 \text{ mm}$$

2.5 Pengujian Resistansi Negatif

Pada perancangan *dielectric resonator oscillator*, Γ_L diperlukan untuk menjadi suatu resistansi negative, yang ditentukan dengan membuat lingkaran kestabilan output, jari jari lingkaran kestabilan dapat dihitung sebagai berikut.

$$r_T = \left| \frac{S_{12} S_{21}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \right| \quad (15)$$

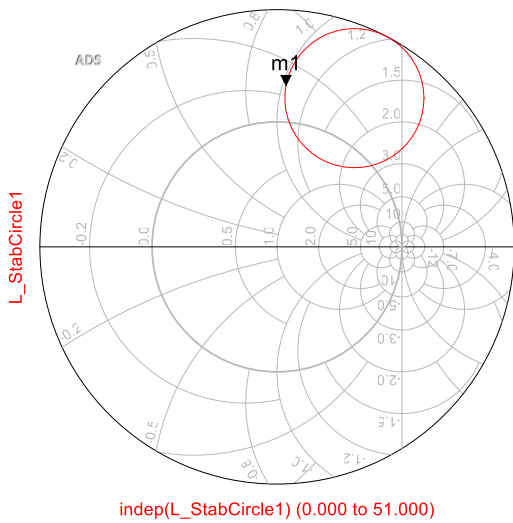
$$= 0,690$$

Dan titik pusat lingkaran dapat dihitung sebagai berikut.

$$C_T = \frac{(S_{22} - \Delta S_{11}^*)}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \quad (16)$$

$$C_T = 1,519 \angle -66,439^\circ$$

m1
indep(m1)=24
L_StabCircle1=1.294 / 86.807
freq=3.000GHz
impedance = Z0 * (-0.266 + j1.021)



Gambar 3. Lingkaran kestabilan pada simulasi ADS

Setelah mengetahui lingkaran kestabilan, maka diketahui nilai didapatkan sebesar $0,14 < -86^\circ$.

2.6 Penyesuaian Impedansi Output DRO

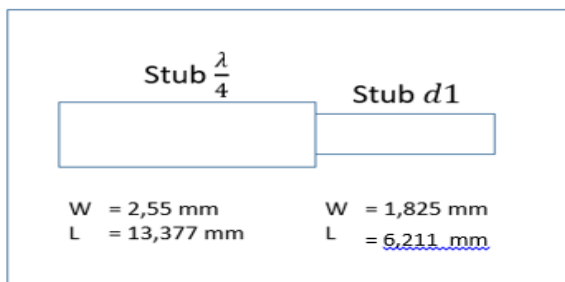
Metoda penyesuaian impedansi yang digunakan adalah teknik *quarter-wave* transformator. Telah didapatkan di dapatkan nilai didapatkan sebesar $0,14 < -86^\circ$. diketahui titik potong impedansi pada 1,2 lalu dnormalisasi terhadap 50Ω sehingga didapat nilainya sebesar 60Ω . Dengan panjang dl sebesar $0,143 \lambda$. Kemudian hitung panjang (L) dan (W) dari stub $\lambda/4$.

$$Z_0 = \sqrt{65 \times 50} = 54,7 \Omega$$

Dengan menggunakan persamaan 11, 12, 13, dan 14 untuk nilai $Z_0 = 54,7 \Omega$ diperoleh nilai panjang (L) dan lebar (W) dari stub $\lambda/4$ sebesar 2,55 mm dan 13,337 mm. Kemudian hitung panjang (L) dan lebar (W) dari stub dl .

$$Z_0 = 65 \Omega$$

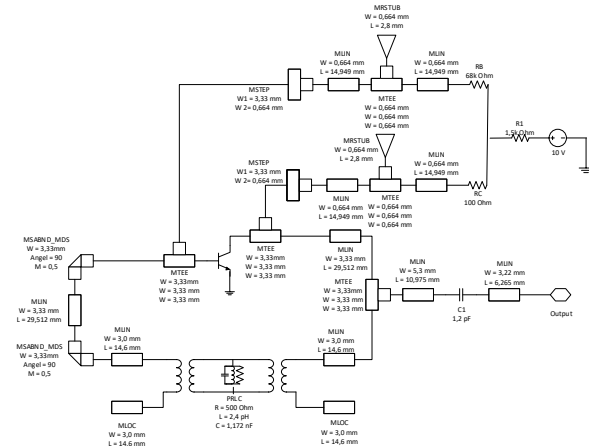
Dengan menggunakan persamaan 11 dan 12 didapatkan nilai panjang (L) dan lebar (W) dari stub dl sebesar 1.825 mm dan 6,211 mm.



Gambar 5. Penyesuaian Impedansi Output

Dari penyesuaian impedansi *output* yang telah diperoleh berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat ditunjukkan pada Gambar 5.

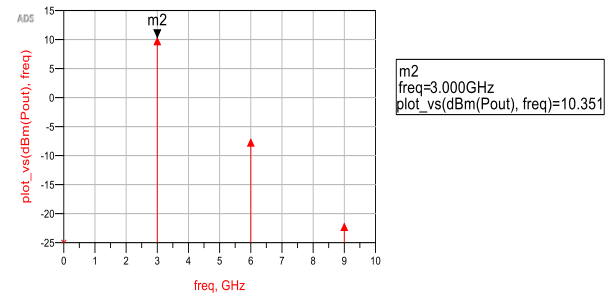
Berikut merupakan Rangkaian DRO dengan frekuensi kerja 3 GHz.



Gambar 6. Rangkaian DRO 3GHz

3. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

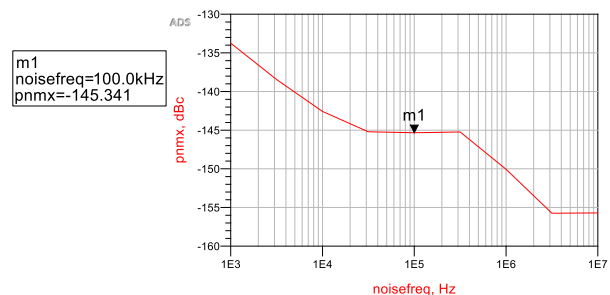
3.1 Daya Output Sinyal Fundamental dan Harmonik



Gambar 7. Grafik Daya Fundamental dan Harmonik DRO

Hasil simulasi DRO pada frekuensi 3 GHz menghasilkan besar *output* daya fundamental sebesar 10,351 dBm telah sesuai dengan yang diharapkan dimana dimana besar *output* daya *fundamental* > 10 dBm.

3.2 Phase Noise Power Spectral Density



Gambar 8. Phase Noise Rangkaian DRO

Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa *phase noise* rangkaian DRO berfrekuensi 3 GHz dapat terukur pada frekuensi *offset* 100 kHz sebesar -145,341 dBc/Hz, hasilnya sudah sesuai dengan yang diharapkan dimana *phase noise* yang terukur sangat kecil.

3.3 Akurasi Frekuensi

Pada perancangan sebuah osilator pergeseran frekuensi kerap kali terjadi, hal itu terjadi dapat disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya saja akibat dari kurang sempurnanya *matching impedance* yang dirancang dan masih banyak faktor lainnya, hal ini menyebabkan kurang idealnya akurasi frekuensi yang dihasilkan, dimana osilator yang baik memiliki nilai akurasi frekuensi ± 20 ppm, Perhitungan akurasi frekuensi berdasarkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 7 dimana frekuensi center oscillator jatuh tepat pada frekuensi 3 GHz adalah sebagai berikut dibawah ini.

$$\begin{aligned} 1 \text{ ppm (part per million)} &= 3000 \text{ MHz}/1\text{MHz} \\ &= 3000 \text{ Hz} \\ &= 3\text{KHz} \end{aligned}$$

$$\text{Pergeseran frekuensi} = 3000 - 3000 = 0 \text{ Hz}$$

$$\text{Jadi akurasi frekuensi} = 0/3 = 0 \text{ ppm}$$

dimana hasil ini sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu 0 dimana nilai maksimal akurasi frekuensi adalah ± 20 ppm. Untuk menepatkan frekuensi lebih akurat perlu dituning dengan cara memutar srup tuning pada bagian atas casing jika dilakukan realisasi.

4. KESIMPULAN

1. *Dielectric Resonator Oscillator* yang di simulasikan sudah sesuai dengan apa yang di harapkan dimana nilai daya *output power fundamental* yang dihasilkan berada diatas 10 dBm yaitu sebesar 10,351 dBm.
2. Frekuensi yang dihasilkan pada simulasi sudah sesuai dengan yang diinginkan sebesar 3 GHz.
3. Dari hasil simulasi keakurasian frekuensi yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu 0 dimana nilai maksimal akurasi frekuensi suatu osilator yang baik adalah ± 20 ppm.
4. Penggunaan teknik *matching impedance* transformator $\lambda/4$ pada perancangan DRO cukup baik karna teknik ini cocok untuk rangkaian yang berfrekuensi tinggi terutama pada orde giga.

Adapun saran penelitian ini adalah :

1. Keakurasian frekuensi merupakan hal yang penting dalam perancangan suatu osilator, maka dari itu diperlukan ketepatan teknik *matching impedance*

yang digunakan, agar hasilnya dapat sesuai dengan apa yang diharapkan.

2. Disarankan selain melakukan perancangan dan simulasi penelitian selanjutnya dapat melakukan perealisasi terhadap perancangan yang telah dilakukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada para dosen dan juga staff Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga jurnal ini dapat terselesaikan. Terimakasih penulis ucapkan kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah memberikan bantuan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Wan, "Design of a 5.305 GHz Dielectric Resonator Oscillator with Simulation and Optimization," *Journal of Electronic Science and*, Vols. vol. 6, (3), pp. pp. 342-345, 2008.
- [2] P.Vryonides, "24 GHz Low Phase Noise HBT Dielectric Resonator Oscillator," in *IEEE 11th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)*, Melbourne, FL, USA, 2010.
- [3] Hercuadi, "Dielectric Resonance Oscillator (DRO) 9.6 GHz for RADAR Application," *Research Centre for Electronics and Telecommunication*, pp. pp. 149-151, 2015.
- [4] Gonzales, "Foundations of Oscillator Circuit Design," Boston : Artech House, 2007.
- [5] Wibisono, "Perancangan Dielectric Resonator Oscillator Untuk MobileWimax pada frekuensi 2,3 GHz dengan Penambahan Coupling $\lambda/4$," Universitas Indonesia, Indonesia, 2010.
- [6] Mahyuddin, "Modeling of a 10GHz Dielectric Resonator Oscillator in," in *International RF and Microwave Conference Proceedings. University Science Malaysia*, Malaysia, 2008.
- [7] I. Dokuz Eylül University, "Dielectric Resonator Oscillator Design and Realization at 4.25 GHz," in *International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, Turkey, 2011.
- [8] R. Zhang, "Low-Cost Dielectric-Resonator Filters With Improved Spurious Performance," *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, Vols. VOL. 55, NO. 10, pp. 2168-2175, 2007.
- [9] D. A. Mutiari, "Perancangan dan Realisasi Dielectric Resonator Oscillator pada Frekuensi erja 9,4 GHz," Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2016.
- [10] Sahreza, "Perancangan Dan Realisasi Penurun Frekuensi Tingkat Satu Dari Frekuensi Rf 5,6 Ghz Ke Frekuensi If 450 Mhz Menggunakan Mixer Dan Dielektrik Resonator Osilator," Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2019.