

BANDPASS FILTER MIKROSTRIP X-BAND UNTUK RADAR CUACA DENGAN METODE SQUARE RING RESONATOR

X-BAND MICROSTRIP BANDPASS FILTER FOR WEATHER RADAR WITH SQUARE RING RESONATOR METHOD

Intan Nuraeni Agfah¹, Heroe Wijanto², Budi Syihabuddin³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹ intanagfah@telkomuniversity.ac.id , ² heroewijanto@telkomuniversity.ac.id , ³

budisyihab@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Radar cuaca bisa disebut juga dengan radar pengawas cuaca atau weather surveillance radar (WSR) dan radar cuaca Doppler, adalah sebuah jenis radar yang digunakan untuk mencari curah hujan, menghitung pergerakan, memperkirakan jenis objeknya (hujan, salju, hujan es, dan lain-lain). Dalam hal ini, agar radar cuaca mendapatkan hasil penginderaan yang baik, maka frekuensi lain yang tertumpang atau tidak diinginkan dan interferensi pada saat modulasi dalam perangkat seharusnya dihilangkan. Untuk menghilangkan kendala interferensi tersebut maka dibutuhkan perangkat dengan nama filter. Filter yang dibutuhkan adalah Band-pass Filter agar dapat meloloskan frekuensi passband dan memotong frekuensi stopband.

Pada penelitian tugas akhir ini dirancang dan direalisasikan sebuah *Band-pass Filter* yang bekerja pada frekuensi X-Band, menggunakan metode *Square Ring Resonator with edge coupled to I/O lines* berbasis mikrostrip agar dapat memiliki *bandwidth* frekuensi sebesar 50 MHz pada frekuensi tengah 9.475 GHz. Bahan yang digunakan dalam filter ini adalah *Rogers Duroid 5880* yang memiliki konstanta dielektrik sebesar 2.2. Hasil pengukuran dari filter yang direalisasikan berada pada frekuensi tengah 9.475 GHz. Nilai *return loss* sebesar -20.551 dB dan nilai *insertion loss* sebesar -3.234 dB. *Bandwidth filter* sebesar 46 MHz.

Kata Kunci: Filter, Band-pass Filter, Radar Cuaca, frekuensi X-Band, Open Loop Square Resonator, Rogers Duroid 5880.

Abstract

Weather radar can be referred as weather radar or weather surveillance radar (WSR) and Doppler weather radar, is a type of radar used to find rainfall, calculate movement, predict the type of object (rain, snow, hail, etc.). In this case, in order for the weather radar to get a good sensing result, the other frequencies that are either over-loaded or undesirable and the interference at the time of modulation in the device should be eliminated. To eliminate the interferences' constraints, required device which called filter. The required filter is a Band-pass Filter in order to pass passband frequency and cut stopband frequency.

This final project designing and realizing a Band-pass Filter that works on X-Band frequency, using Square Ring Resonator method with edge coupled to I / O lines based on microstrip in order to have 50 MHz frequency bandwidth and the middle frequency at 9.475 GHz. The material that used in this filter is the Rogers Duroid 5880 which has a dielectric constant 2.2. The measurement result of the realized filter is at 9.475 GHz. The return loss value is -20.551 dB and the insertion loss value is -3.234 dB. Filter bandwidth is 46 MHz.

Keywords: Filter, Band-pass Filter, Weather Radar, X-Band Frequency, Open Loop Square Resonator, Rogers Duroid 5880.

1. Pendahuluan

Radar merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur jarak dan membuat map benda-benda seperti pesawat terbang, kendaraan bermotor dan informasi cuaca/hujan. Jenis radar bermacam-macam diantaranya, *Doppler Radar* merupakan jenis radar yang menggunakan Efek Doppler untuk mengukur kecepatan radial dari sebuah objek yang masuk daerah tangkapan radar. Contoh *Doppler Radar* yaitu *Weather Radar* yang digunakan untuk mendeteksi cuaca^[11].

Sistem Radar cuaca terdiri atas dua bagian yaitu pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*), Dimana pada masing-masing bagi terdapat suatu filter. Penerima sinyal (*receiver*) berfungsi untuk menerima gelombang elektromagnetik melalui reflektor antenna. Hal ini dilakukan agar sinyal objek yang berada didaerah jangkauan radar dapat dikenali. Dalam hal ini, agar radar cuaca mendapatkan hasil penginderaan yang baik, maka frekuensi lain yang tertumpang atau tidak diinginkan dan interferensi pada saat modulasi dalam perangkat seharusnya

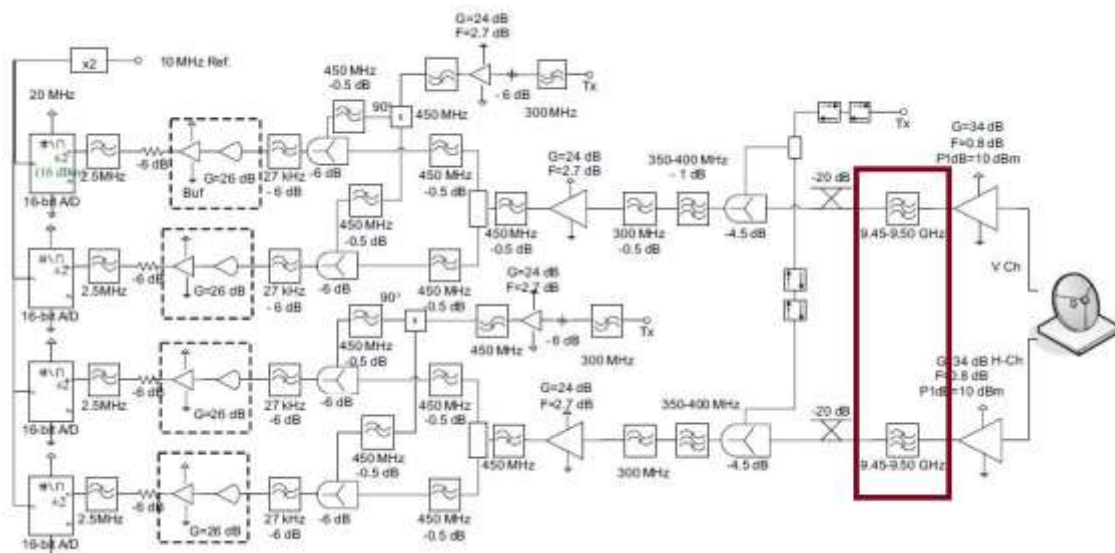
dihilangkan. Untuk menghilangkan kendala interferensi tersebut pada perangkat yang lebih dikenal dengan nama *filter*.

Dalam sistem radar cuaca X-Band membutuhkan sebuah filter yang bekerja pada frekuensi tengah 9.475 GHz dengan *bandwidth* 50 MHz pada rentang frekuensi 9.45 GHz – 9.50 GHz. Menggunakan bahan dielektik *Rogers Duroid 5880* dengan nilai permitivitas elektrik (ϵ_r) sebesar 2.2 yang mempunyai nilai *tangen loss* ($\tan \delta$) sebesar 0.0009.

2. Teori

2.1 Radar Cuaca

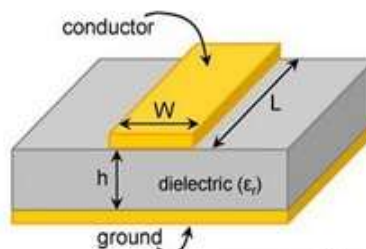
Radar cuaca bekerja dengan cara memancarkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi microwave ke dalam atmosfer, saat gelombang yang dipancarkan mengenai objek, beberapa gelombang elektromagnetik terhambur kembali ke radar, hal ini sering disebut “pantulan kembali” dan ini Dimana “Reflectivity” berasal. Gelombang yang dikembalikan ke radar akan dianalisis oleh komputer untuk mengetahui lokasi dan intensitas curah hujan, dan informasi tentang arah dan kecepatan angin. Dalam hal ini, agar radar cuaca mendapatkan hasil penginderaan yang baik disisi penerima, maka frekuensi lain yang tertumpang atau tidak diinginkan dan interferensi pada saat modulasi dalam perangkat seharusnya dihilangkan. Untuk menghilangkan kendala interferensi tersebut maka dibutuhkan perangkat dengan nama filter. Filter yang dibutuhkan adalah Band-pass Filter agar dapat meloloskan frekuensi yang diinginkan (*passband*) dan memotong frekuensi yang tidak diinginkan (*stopband*).



Gambar 1.1 Blok Diagram Receiver Radar Cuaca^[10].

2.2 Filter Mikrostrip

Filter mikrostrip merupakan salah satu jenis filter yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Filter mikrostrip terbuat dari tiga lapisan bahan, yaitu lapisan resonator (konduktor), substrat dielektik, dan groundplane.^[3]



Gambar 2.2 Letak Susunan Filter Mikrostrip

Dalam menganalisis karakteristik suatu susunan, adalah dengan awalnya menganggap medium yang memisahkan kedua konduktor adalah udara. Dalam hal ini, bidang tanah sebagai cermin, sehingga saluran strip dicerminkan kembali dengan jarak $2d$ satu sama lain. Kapasitansi kedua saluran tersebut adalah C_0 . Konstanta dielektrik efektif adalah perbandingan antara kapasitansi terdistribusi saluran dengan dielektrik terhadap C_0 . Konstanta dielektrik efektif dapat ditentukan dengan persamaan 2.1:^[4]

$$1 < \varepsilon_e = \frac{C}{C_0} < \varepsilon_r \quad (2.1)$$

Pada saat frekuensi rendah, kapasitansi terdistribusi C_0 , dapat menggunakan persamaan 2.2:^[4]

$$C_0 = \begin{cases} \frac{2\pi \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d}\right)} & \frac{W}{d} \leq 1 \\ \varepsilon_0 \left[\frac{W}{d} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{W}{d} + 1.444\right) \right] & \frac{W}{d} > 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

Konstanta dielektrik efektif ditentukan dengan persamaan 2.3:^[5]

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10}{W/d} \right]^{-(ac)} \quad (2.3)$$

dengan persamaan 2.4 dan 2.5:

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{\left(\frac{W}{d}\right)^4 + \left(\frac{W/d}{52}\right)^2}{\left(\frac{W}{d}\right)^4 + 0.432} \right] + \frac{1}{18.7} \ln \left[1 + \left(\frac{W/d}{18.1}\right)^3 \right] \quad (2.4)$$

$$c = 0.564 \left(\frac{\varepsilon_r - 0.9}{\varepsilon_r + 3} \right)^{0.053} \quad (2.5)$$

dan impedansi karakteristik pada persamaan 2.6:

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_e}} \ln \left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d} \right) & W/d \leq 1 \\ \frac{120 \pi / \sqrt{\varepsilon_e}}{W/d + 1.393 + 0.667 \ln(W/d + 1.444)} & W/d > 1 \end{cases} \quad (2.6)$$

Dalam perancangan, bila terdapat impedansi karakteristik Z_0 dan konstanta dielektrik ε_r , lebar strip dapat dihitung dengan persamaan 2.7:^[5]

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & W/d < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln((2 * B) - 1) + \frac{\varepsilon_r - 1}{2 \varepsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\varepsilon_r} \right) \right] & W/d > 2 \end{cases} \quad (2.7)$$

dengan persamaan 2.8 dan 2.9 berikut:

$$A = \frac{z_{res}}{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r} \right)} \quad (2.8)$$

$$B = \frac{377 \pi}{2 Z_0 \sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2.9)$$

2.3 Square Ring Resonator^[3]

Filter Mikrotrip dengan metode Square Ring Resonator banyak digunakan karena bentuknya yang mudah untuk dirancang dalam pencetakannya. Rangkaian Square Ring Resonator dasar terdiri dari efek line, kap kopling dan resonator. Prinsip kerja resonator adalah menggunakan prinsip resonansi, sehingga bisa dikatakan resonator akan bekerja (beresonansi) pada suatu frekuensi tertentu, kemudian dengan adanya resonansi tersebut sebuah gelombang RF akan tersalurkan.

2.3.1 Kopling Elektrik^[3]

Kopling elektrik merupakan sebuah kopling dengan ujung terbuka yang terbentuk diantara dua buah resonator yang saling berdekatan yang menghasilkan medan listrik yang lebih kuat jika semakin mendekat. Kopling elektrik dapat dihitung dengan persamaan 2.10 berikut :

$$k_E = \frac{\pi}{16} \cdot F_e \cdot \exp(-A_e) \cdot \exp(-B_e) \cdot \exp(-D_e) \quad (2.10)$$

dimana:

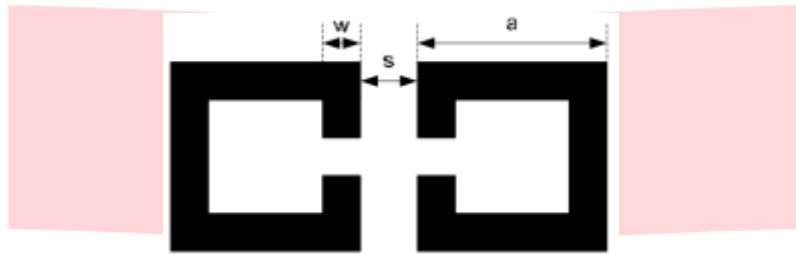
$$A_e = 0.2559 - 0.01571 \varepsilon_r + 0.1 \sqrt{\varepsilon_r + 1} \cdot \frac{w}{h}$$

$$B_e = \left[1.0678 + 0.266 \ln \left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2} \right) \right] \cdot \left(\frac{s}{h} \right)^{pe},$$

$$pe = 1.0886 + 0.03146 \left(\frac{w}{h} \right)^4$$

$$D_e = \left[0.1608 - 0.06945 \sqrt{\frac{a}{h}} \right] \cdot \left(\frac{s}{h} \right)^{1.15}$$

$$F_e = \left[-0.9605 + 1.4087 \sqrt{\frac{a}{h}} - 0.2443 \frac{a}{h} \right]$$



Gambar 2.3 Kopling Elektrik^[3]

3. Perancangan

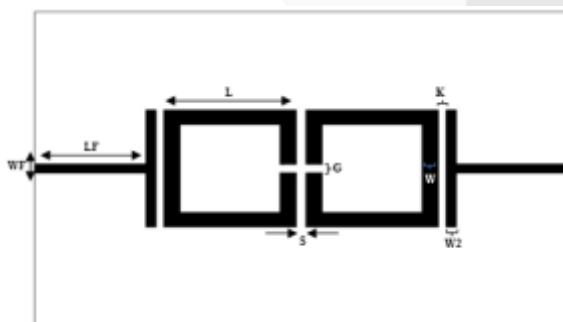
3.1 Spesifikasi Filter

Spesifikasi yang dirancang dalam perancangan sebuah bandpass filter pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

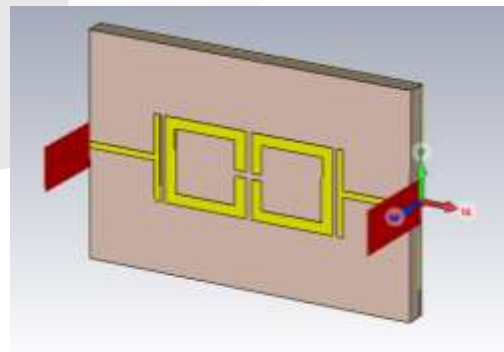
- Frekuensi kerja : 9.45 – 9.50 GHz
- Frekuensi tengah : 9.475 GHz
- Bandwidth (-3 dB) : 50 MHz
- Bandwidth (-10 dB) : > 50 MHz
- Insertion Loss : ≥ -3 dB
- Return Loss : ≤ -10 dB
- Z Terminal (Z_0) : 50 Ω
- Z Resonator (Z_{res}) : 80 Ω

3.2 Perancangan Filter Mikrostrip

Proses perancangan filter dengan menggunakan metoda Square Ring Resonator with coupled edge to I/O lines memiliki beberapa tahapan. Filter yang akan dirancang menggunakan teknik saluran transmisi mikrostrip dengan menggunakan bahan dielektrik Rogers Duroid 5880. Karakteristik substrat dari Rogers Duroid 5880 dengan nilai permitivitas elektrik (ε_r) sebesar 2.2, dan tebal dielektrik 1.575 mm.



Gambar 3.1 Layout Filter.



Gambar 3.2 Desain Filter.

Tabel 1.1 Parameter Dimensi Filter Sebelum dan Setelah Optimasi.

Parameter	Dimensi Filter Utama (mm)	Dimensi Filter (Edge Couple) (mm)	Keterangan
WS	20,4	17,7	Lebar Substrat
LS	30,4	26,7	Panjang Substrat
LF	4	5,5	Panjang Feedline
WF	4.85	0,5	Lebar Feedline
W2	-	0,5	Lebar Edge Couple
W	2.2	0,848	Lebar Resonator
L	6,15	6,7	Panjang Resonator
S	1,23	0,5	Gap Resonator
G	0,5	0,5	Gap Feed
K	-	0,4	Gap Edge
A	-	6,7	Panjang Edge Couple

3.3 Realisasi Antena

Tahap Selanjutnya antena yang telah dirancang dan disimulasikan dengan perangkat lunak bantu CST Microwave Studio 2016, kemudian direalisasikan dengan menggunakan bahan yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu substrat *Rogers Duroid 5880* di pabrik percetakan dengan menggunakan jasa pencetakan *Filter Printed Circuit Board (PCB)*. Dimensi filter yang difabrikasi didapat ukuran 2,7 x 1,7 x 0,5 cm².



(a)



(b)

Gambar 3.3 Realisasi Filter Mikrostrip (a) depan, (b) samping.

4. Pengukuran dan Analisis

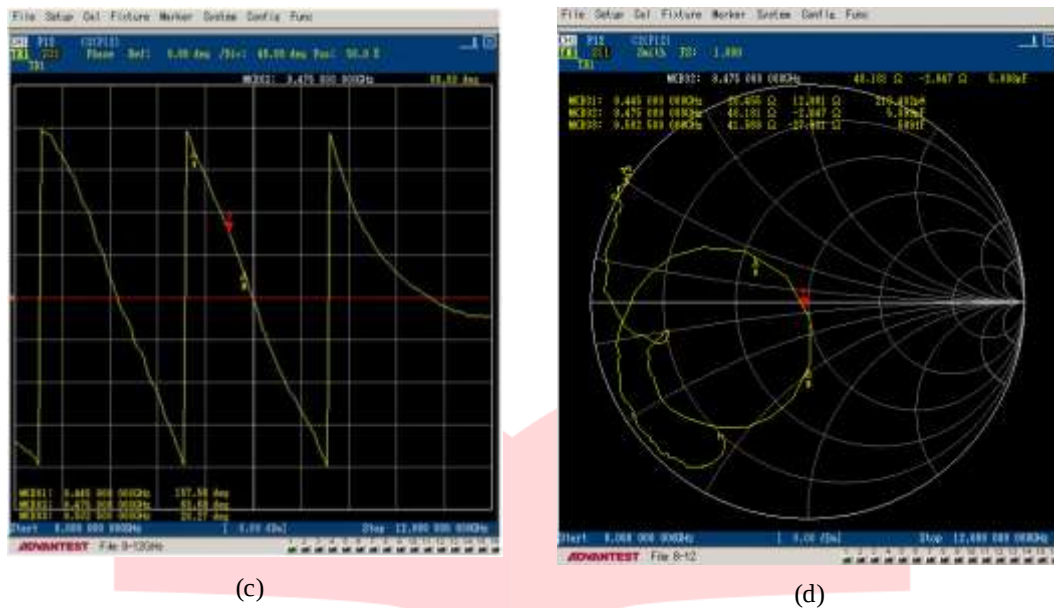
Setelah dilakukan realisasi filter hasil optimal dari simulasi maka dilakukan tahap pengukuran. Pengukuran menggunakan alat ukur Network Analyzer, dan kabel coaxial. Parameter pengukuran filter ini meliputi insertion loss (S11), return loss (S21), bandwidth, vswr, dan impedansi.



(a)



(b)



Gambar 4.1 Grafik Pengukuran (a) *Return Loss* (b) *Insertion Loss* (c) Respon Fasa (d) Impedansi

Tabel 4.1 Perbandingan hasil spesifikasi, simulasi dan realisasi

Parameter	Spesifikasi	Simulasi	Realisasi
Frekuensi tengah	9.475 GHz	9.475 GHz	9.475 GHz
Return Loss	≤ -10 dB	-31.668 dB	-20.551 dB
Insertion Loss	≥ -3 dB	-2.763 dB	-3.234 dB
Bandwidth(-3dB)	50 MHz	50 MHz	46 MHz
Bandwidth(-10dB)	> 50 MHz	72 MHz	68 MHz
Impedansi	50 Ω	47.542 Ω	48.181 Ω

Pada tabel 4.1 diatas menunjukan perbandingan spesifikasi antara hasil simulasi dengan hasil realisasi. Pada simulasi parameter kinerja sistem sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Sedangkan hasil pengukuran realisasi menunjukkan beberapa perbedaan parameter, diantaranya yaitu bandwidth semakin sempit, serta nilai insertion loss yang semakin kecil atau bisa dikatakan semakin jelek.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi Filter mikrostrip dengan metode *Square ring resonator with edge couple to I/O lines*.

1. Respon frekuensi yang diperoleh dari filter yang dirancang pada saat simulasi bekerja pada frekuensi tengah 9.475 GHz dengan range frekuensi 9.45 GHz-9.50 GHz yang memiliki bandwidth sebesar 50 MHz (*passband*), dan 72 MHz (*stopband*).
2. *Bandwidth filter* realisasi mengalami penyempitan menjadi 46 MHz di daerah *passband* dengan rentang frekuensi 9.454 GHz-9.50 GHz. Pada daerah *stopband* mengalami penyempitan menjadi 68 Mhz pada rentang frekuensi 9.441 GHz-9.509 GHz.
3. Nilai impedansi filter yang diperoleh pada saat simulasi di frekuensi tengah 9.475 GHz adalah 47.542 Ω , sedangkan pada saat pengukuran nilai impedansi pada frekuensi tengah 9.475 GHz yaitu 48.181 Ω .

Daftar Pustaka

- [1] Bowick, Chris. RF Circuit Design, second edition, Newnes, 2007.
- [2] David M. Pozard. "Microwave Engineering", Second Edition, John Wiley and sons, 2012.
- [3] Jia-Sheng Hong, and Michael J. Lancaster. "Design of Highly Selective Microstrip Bandpass Filters with a Single Pair of Attenuation Poles at Finite Frequencies". IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 48, NO. 7. 2000.
- [4] M. Mabrouk, L. Bousbia. "Study and Enhanced Design of RF Dual Bandpass Filter Validation and Confirmation of Experimental Measurement". University of Carthage. 2011.
- [5] Jia-Sheng Hong and Michael J. Lancaster. "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications". A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION. 2001.
- [6] D. Packiaraj, M. Ramesh. "Design of a Tri-Section Folded SIR Filter". A IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol 16, No. 5, May 2006.
- [7] Kai Chang, Lung-Hwa Hsieh. "Microwave Ring Circuits and Related Structures. Second Edition". A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION. 2004.
- [8] Chneg-Cheh Yu. "Novel Compact Elliptic-Function Narrow-Band Bandpass Filters Using Microstrip Open-Loop Resonators With Coupled and Crossing Lines". IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 46, NO. 7, JULY 1998.
- [9] V.N. Bringi and V. Chandrasekar. Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and applications. Cambridge University Press, 2001.
- [10] Ventura I Figueras. "Design of a High Resolution X-band Doppler Polarimetric Weather Radar". Universitat Politècnica de Catalunya. 2009.
- [11] Skolnik, M., Introduction to Radar Systems, New York, McGraw-Hill, 3rd Edition, 2001.
- [12] Jia-Sheng Hong and Michael J. Lancaster. "Couplings of Microstrip Square Open-Loop Resonators for Cross-Coupled Planar Microwaves Filter". IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 44, NO. 12. 1996.
- [13] Sitompul Frans C. And Rambe Ali H. "Rancang Bangun Band Pass Filter Dengan Metode Hairpin Menggunakan Saluran Mikrostrip Untuk Frekuensi 2,4-2,5 GHz". Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. 2104.
- [14] Chneg-Cheh Yu. "Novel Compact Elliptic-Function Narrow-Band Bandpass Filters Using Microstrip Open-Loop Resonators With Coupled and Crossing Lines". IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 46, NO. 7, JULY 1998.
- [15] Rogers Corporation. "RT Duroid 5870 / 5880 High Frequency Laminates Datasheet". Rogers Corp.