

Rancang Bangun Antena *Microstrip Patch Circular* Menggunakan Metode *Defected Ground Structure (DGS)* Untuk Aplikasi DVB-T2

Design Of Circular Patch Microstrip Antenna Using Defected Ground Structure (DGS) Method in DVB-T2 Applications

Sofian Dwi Ashari¹, Muhammad Panji Kusuma Praja², Agung Wicaksono³
^{1,2,3} Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto
E-mail: ¹19101173@ittelkom-pwt.ac.id, ²panji@ittelkom-pwt.ac.id, ³agungw@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak

Perkembangan era digital ini tidak lepas juga pada televisi, di mana televisi mengalami perubahan dari analog ke digital yang tertuang pada peraturan kominfo. Penyiaran televisi digital di Indonesia menggunakan standar *Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2)* yang berkerja pada *range* frekuensi 478 – 694 MHz. Proses peralihan dari televisi analog ke digital akan membutuhkan antena yang sesuai, yang dapat menangkap sinyal tersebut. Antena mikrostrip memiliki kelebihan bentuknya yang *compact* dan mudah untuk difabrikasi, namun memiliki kelemahan di antaranya *bandwidth* yang dihasilkan sempit, oleh karena itu pada penelitian ini antena yang digunakan menggunakan *patch* lingkaran (*circular*) dan menggunakan metode *Defected Ground Structure (DGS)*. Metode DGS diterapkan dengan tujuan untuk memperlebar *bandwidth*. Hasil perancangan menunjukkan bahwa parameter antena seperti VSWR, *gain* dan *return loss* mengalami perbaikan antara sebelum menggunakan metode DGS dan menggunakan metode DGS. Nilai parameter antena sebelum metode DGS pada frekuensi tengah 586 MHz menunjukkan nilai *return loss* -14,56 dB, VSWR 3,32, dan *gain* -5,45 dBi. Pada perancangan menggunakan metode DGS, menunjukkan nilai *return loss* -39,32 dB, VSWR 0,19, dan *gain* sebesar 5,49 dBi. Sedangkan nilai *bandwidth* mengalami perubahan, yaitu sebesar 11 MHz pada perancangan tanpa metode DGS, dan *bandwidth* sebesar 365 MHz dengan menggunakan metode DGS.

Kata kunci: Antena mikrostrip, *circular patch*, DVB-T2, DGS.

Abstract

The development of this digital era must be connected to the television, where television has changed from analog to digital, as stipulated in the Ministry of Communication and Informatics regulations. Digital television broadcasting in Indonesia uses the *Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2)* standard, which operates in the frequency range of 478 MHz – 694 MHz. Switching from analog to digital television will require a suitable antenna to pick up the signal. Microstrip antennas have the advantage of being compact and easy to fabricate but have weaknesses, including the narrow bandwidth produced. Therefore, in this study, the antenna uses a circular patch and the *Defected Ground Structure (DGS)* method. The DGS method is implemented to widen the bandwidth. The design results show that the antenna parameters such as VSWR, *gain*, and *return loss* have improved before using the DGS method and using the DGS method. The antenna parameter values before the DGS method at the center frequency of 586 MHz show a *return loss* value of -14.56 dB, VSWR 3.32, and *gain* -5.45 dBi. The DGS method design offers a *return loss* value of -39.32 dB, a VSWR of 0.19, and a *gain* of 5.49 dBi while the value of the bandwidth has changed, which is equal to 11 MHz in the design without the DGS method, and a bandwidth of 365 MHz using the DGS method.

Keywords: microstrip antenna, *circular patch*, DVB-T2, DGS.

1. PENDAHULUAN

Dalam teknologi informasi yang berkembang pesat seperti saat ini, telekomunikasi juga mengalami banyak perkembangan di mana dalam era digital mulai diterapkan pada televisi digital. Teknologi digital sangat dibutuhkan karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan teknologi sebelumnya [1]. Di zaman sekarang mau tidak mau, konsumen harus beralih dari siaran televisi analog ke siaran televisi digital. Ketika membandingkan antara penyiaran televisi analog dengan digital, pada televisi analog ketika semakin jauh dari pemancar maka kualitas dari gambar dan suara akan jelek maupun berbayang, sedangkan pada penyiaran tv digital dapat menerima sinyal dengan kualitas yang baik sampai pada titik penerima tidak dapat menerima sinyal lagi. Singkatnya pada penyiaran televisi digital, ketika menerima sinyal maka program siaran muncul (1) dan ketika tidak menerima (0) maka program siaran tidak muncul. Pada siaran televisi digital dalam 1 kanal bisa terdapat 6-8 *channel* televisi. Di mana hal ini berbeda dengan televisi analog yang 1 kanal digunakan 1 *channel* televisi. Oleh karena hal tersebut, siaran televisi digital lebih efisien dalam penggunaan kanal frekuensi [2]. Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Komunikasi dan Informatika mengeluarkan perturan menteri kominfo no.6 tahun 2019, diharapkan dengan beralihnya televisi alaog menjadi digital dapat memberikan siaran komunikasi kepada masyarakat dengan kualitas siaran yang lebih baik, dan lebih efisien dalam penggunaan kanal frekuensi. Penyiaran televisi digital di Indonesia menggunakan standar *Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial* (DVB-T2). Di mana DVB-T2 adalah standar penyiaran televisi digital terestrial yang telah dipublikasikan oleh *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). Teknologi DVB-T2 memiliki fleksibilitas yang tinggi dan membutuhkan *bandwith* yang lebih besar, maka dari itu diperlukan antena penerima yang sesuai [3].

Dalam penerimaan sinyal digital diperlukan antena yang dapat menerima siaran digital dengan baik. Di mana pada aturan pemerintah no 6 tahun 2019 penyiaran televisi digital berkerja pada *range* frekuensi 478 MHz – 694 MHz [4]. Sehingga memerlukan antena yang memiliki *bandwith* yang lebar dan bentuknya yang *compact*. Sedangkan antena *microstrip* memiliki karakter *bandwidth* yang cukup kecil. Maka dari itu diperlukan antena yang sesuai, yaitu antena mikrostrip *circular* dengan menggunakan *Defected Ground Structure* (DGS). Metode DGS pada perancangan antena ini mempunyai tujuan untuk memperlebar *bandwidth* pada antena *microstrip*. Sehingga diharapkan pada perancangan antena untuk aplikasi DVB-T2 ini dapat diperoleh desain dengan *bandwidth* lebar dan mempunyai desain yang *compact*, agar dapat memudahkan dalam pemasangan antena di dalam maupun di luar ruangan [5].

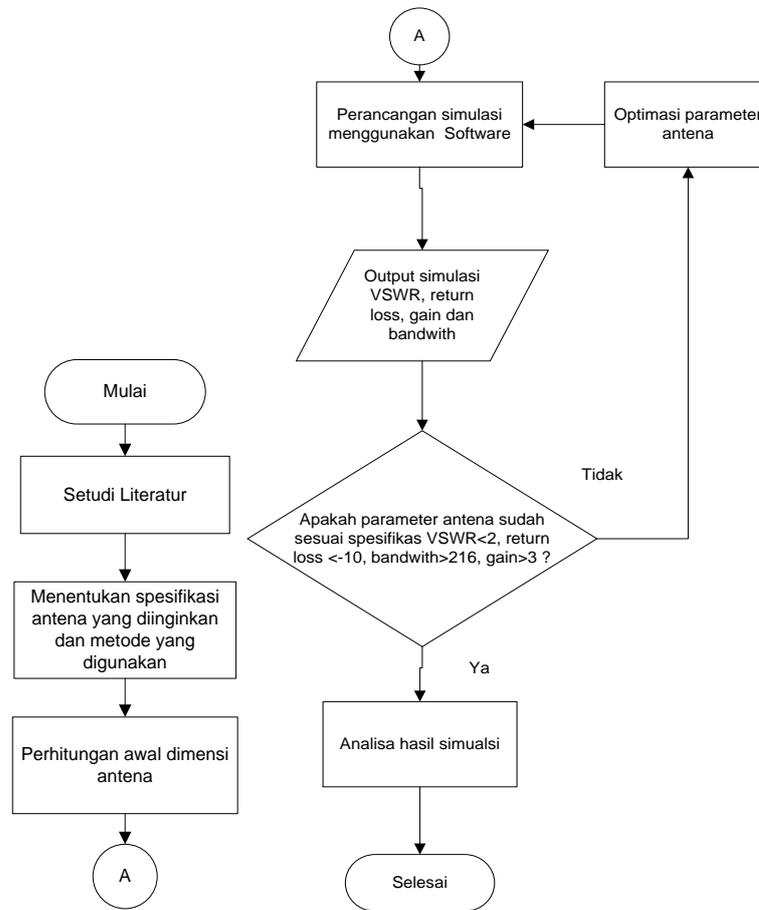
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini merancang antena mikrostrip dengan bentuk *patch circular* yang digunakan untuk aplikasi DVB-T2. Di mana untuk antena tersebut termasuk dalam *wideband*, maka dari itu dibutuhkan metode untuk memperlebar *bandwidth* menggunakan *Defected ground structure* (DGS). Dalam perancangan antena mikrostrip, terdapat beberapa tahapan, dimulai dari penentuan spesifikasi antena mikrostrip, perhitungan dimensi antena, dan melakukan perancangan antena mikrostrip *circular* sebelum dan setelah menggunakan DGS. Penambahan metode DGS digunakan untuk memperlebar *bandwith* sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Parameter antena yang diperoleh dalam perancangan antena adalah *gain*, *return loss*, *VSWR* dan *bandwidth*. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai, maka perlu dilakukan optimasi dari hasil perhitungan dimensi antena, sehingga antena tersebut dapat digunakan untuk aplikasi DVB-T2.

2.1 Diagram alur penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahap dimana tahap awal menentukan spesifikasi antena mikrostrip yang dibutuhkan, melakukan perhitungan awal antena *circular*,

kemudian merancang desain awal antenna mikrostrip *circular* menggunakan software simulasi dan selanjutnya penambahan metode DGS pada antenna mikrostrip *circular*.



Gambar 1 Flowchart alur penelitian

2.2 Antena mikrostrip

Antena merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mengirim atau menerima sinyal gelombang elektromagnetik dari udara. Dalam suatu sistem komunikasi, perangkat antena merupakan alat yang sangat penting. Antena mikrostrip adalah antena yang mempunyai ukuran yang kecil, bobot yang ringan dan mudah untuk difabrikasi dengan ukuran yang kecil. Implementasi antena mikrostrip sangat luas, seperti antena seluler, satelit maupun antena televisi. Antena mikrostrip memiliki fungsi yang sama seperti antena pada umumnya, yaitu alat yang dapat menerima dan mengirim sinyal gelombang elektromagnetik. Namun antena mikrostrip memiliki beberapa kekurangan, di antaranya *gain* yang kecil, *bandwidth* yang sempit dan efisiensi yang rendah [6]. Antena mikrostrip memiliki beberapa kelebihan dibandingkan antena lainnya, yaitu :

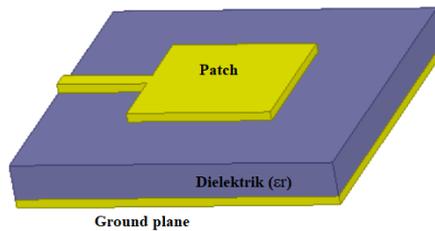
1. Memiliki diameter yang kecil dan bobot yang ringan.
2. Biaya fabrikasi yang lebih murah dibandingkan dengan antena lainnya.
3. Memiliki kemampuan dual frekuensi atau lebih.
4. Mendukung polarisasi *circular* dan *linier*

Namun di sisi lain, antena mikrostrip memiliki beberapa kekurangan, yaitu:

1. *Bandwidth* yang dihasilkan sempit.
2. Mempunyai efisiensi yang rendah.
3. Penguatan atau *gain* yang rendah [7].

Pada umumnya, antena mikrostrip terbagi menjadi 3 elemen, antara lain *patch*, dielektrik

dan *ground plane* seperti ditunjukkan pada gambar 2. Bagian *patch* dan *groundplane* berbahan dasar logam, sedangkan dielektrik merupakan bahan dengan konstanta dielektrik tertentu. Jenis bahan pada logam dan konstanta dielektrik akan mempengaruhi kualitas dari propagasi gelombang yang dihasilkan oleh antenna mikrostrip.



Gambar 2 Antena mikrostrip [8]

2.3 Perhitungan dimensi antena mikrostrip

Sebelum melakukan simulasi antena, terlebih dahulu melakukan perhitungan dimensi antena secara manual, dimulai dari perhitungan mencari lebar *patch*, panjang dan lebar dielektrik, panjang dan lebar *groundplane*, serta panjang dan lebar saluran *feedline*. Antena yang dirancang untuk aplikasi DVB-T2 ini berkerja pada frekuensi tengah 586 MHz.

Perhitungan radius (a) antenna mikrostrip [9] [10].

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

Dengan nilai F dihitung menggunakan :

$$F = \frac{8,794 \times 10^9}{f_c \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Lebar saluran pencatu :

$$wf = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (3)$$

Dimana nilai B dihitung menggunakan persamaan

$$B = \frac{60\pi r}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

Panjang saluran pencatu.

$$\lambda_0 = \frac{c}{fr} \quad (5)$$

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

$$Lf = \frac{1}{4} \lambda_d \quad (7)$$

Menghitung dimensi panjang ground plane (Lg) dan lebar substrat (Ls)

$$L_g = L_s = 2 \times 2a \quad (8)$$

Menghitung lebar ground plane (Wg) dan lebar substrat (Ws)

$$W_g = W_s = 2 \times 2a \quad (9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian terdapat beberapa tahapan dalam penelitian. Pada tahap awal, menentukan spesifikasi antena mikrostrip yang dibutuhkan, melakukan perhitungan awal dimensi antena mikrostrip *circular*, kemudian merancang desain awal antena mikrostrip *circular*

menggunakan software simulasi dan selanjutnya penambahan metode DGS pada antenna mikrostrip *circular* dan optimasi desain agar sesuai spesifikasi awal.

3.1 Penentuan spesifikasi awal antenna dan bahan antenna

Penelitian memiliki acuan sebagai standar dalam melakukan analisis data kinerja antenna. Berikut ini merupakan spesifikasi dari antenna yang digunakan :

Tabel 1 Spesifikasi antenna mikrostrip

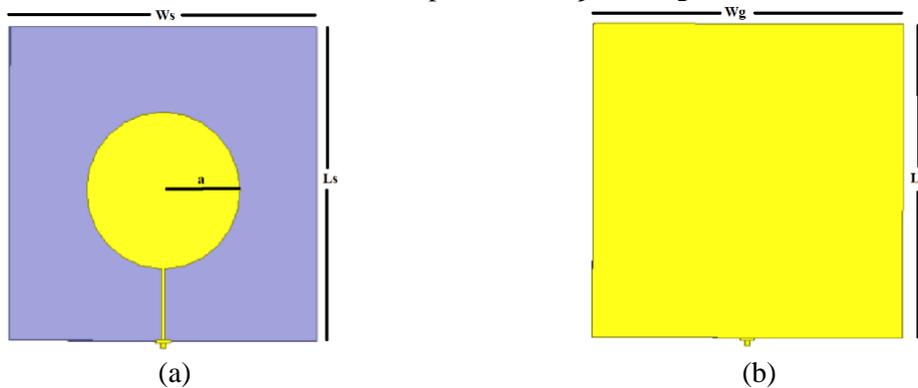
Frekuensi kerja	478 MHz – 694 MHz
Frekuensi tengah	586 MHz
Bandwidth	= 216 MHz
Return loss	≤ -10 dB
VSWR	≤ 2
Gain	≥ 3
Substrate	FR4 epoxy, $\epsilon_r = 4,3$

Tabel 2 Spesifikasi bahan antenna mikrostrip

Bahan substrate	FR4 Epoxy
Konstanta dielektrik	4,3
Tebal substrate	1,6 mm
Bahan patch	Tembaga/Copper
Tebal patch	0,035 mm
Impedansi input	50 Ω

3.2 Desain antenna mikrostrip circular sesuai perhitungan

Pada gambar 2 merupakan desain awal dari antenna mikrostrip *patch circular* tanpa menggunakan metode DGS , nilai tersebut diperoleh dari perhitungan menurut teori.

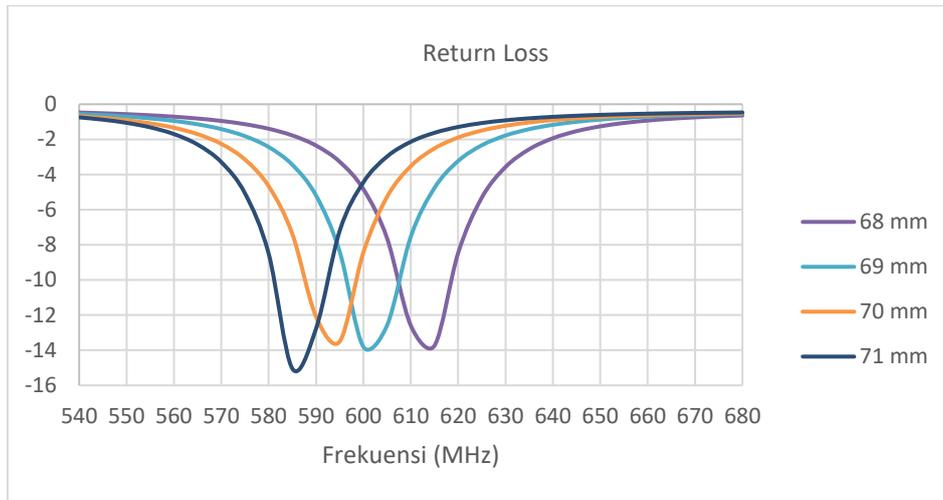


Gambar 2 (a) Tampak depan antenna mikrostrip (b) Tampak belakang antenna mikrostrip

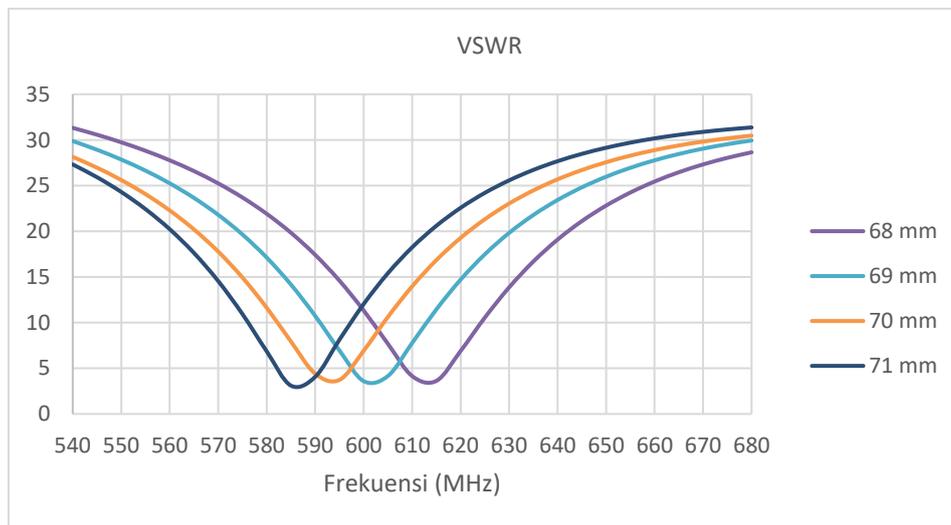
Tabel 3 Dimensi awal antenna

Komponen	Simbol	Dimensi (mm)
Jari-jari patch	<i>a</i>	67,634
Lebar ground plane	<i>Wg</i>	270,536
Lebar substrate	<i>Ws</i>	270,536
Pajang ground plane	<i>Lg</i>	270,536
Panjang substrat	<i>Ls</i>	270,536
Lebar feed line	<i>Wf</i>	3,11
Panjang feed line	<i>Lf</i>	61,7

3.2.1. Hasil optimasi desain sebelum menggunakan DGS



Gambar 3 Hasil *return loss* sebelum menggunakan DGS



Gambar 4 Hasil VSWR sebelum dan setelah menggunakan DGS

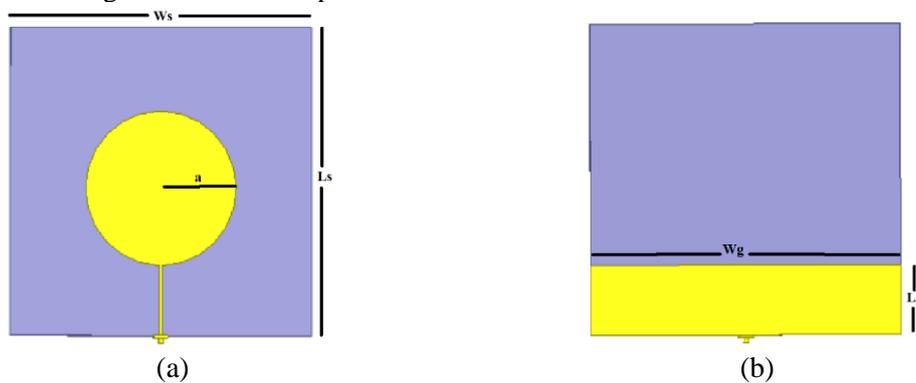
Pada gambar 3 merupakan optimasi desain sebelum menggunakan DGS. Di mana sesuai perhitungan frekuensi tengah masih pada 615 MHz, maka dari itu diperlukan optimasi desain untuk menggeser frekuensi tengah dari antenna tersebut. Dapat dilihat frekuensi tengah didapatkan pada jari-jari *patch* dengan pajang 71 mm. Gambar 4 menunjukkan bahwa jika untuk menggeser frekuensi tengah dari antenna mikrostrip *circular*, dapat dilakukan dengan cara membesarkan atau mengecilkan ukuran *patch*. Di mana ketika mengecilkan ukuran *patch*, maka frekuensi yang dihasilkan akan semakin besar, dan sebaliknya ketika membesarkan ukuran *patch*, maka frekuensi yang didapatkan akan semakin kecil. Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa ukuran jari-jari *patch* 71 mm mendapat frekuensi tengah 586 MHz dengan *bandwidth* sebesar 11 MHz, VSWR 3.32, dan *gain* sebesar -5.45 dBi.

Tabel 4 Optimasi parameter antenna sebelum menggunakan metode DGS

Sebelum Menggunakan Metode DGS							
Radius (mm)	WG&LG (mm)	WS&LS (mm)	Frekuensi Tengah	Return loss (dB)	VSWR	Gain (dB)	Bandwith
68	272	272	615 MHz	-13.73	3.62	-6.37	11 MHz
69	276	276	600 MHz	-13.8	3.59	-5.99	11 MHz
70	280	280	595 MHz	-13.5	3.72	-5.63	11 MHz
71	284	284	586 MHz	-14.56	3.32	-5.45	11 MHz

3.3 Desain antenna microstrip circular menggunakan DGS

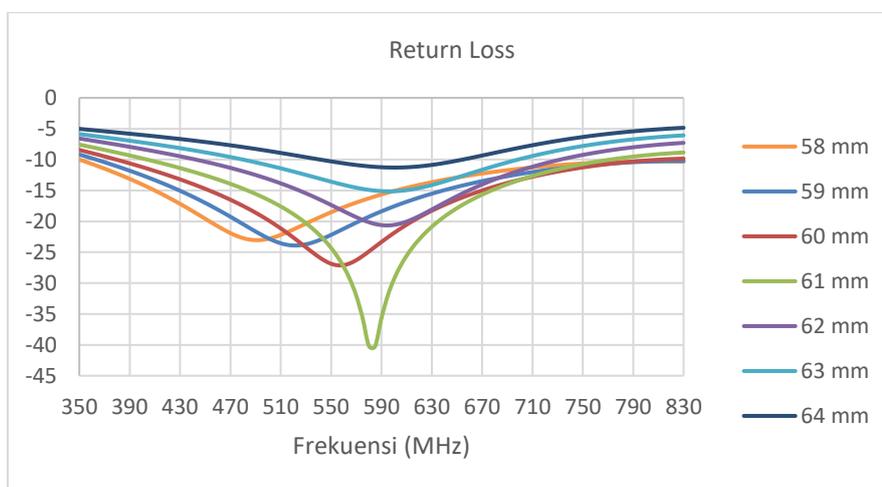
Gambar 5 merupakan desain antenna microstrip circular menggunakan metode DGS dimana pancang dari DGS. Perbedaan yang sangat signifikan antara desain antenna tanpa menggunakan metode DGS dan desain yang menggunakan metode DGS adalah pada dimensi l_g di bagian belakang antenna mikrostrip.



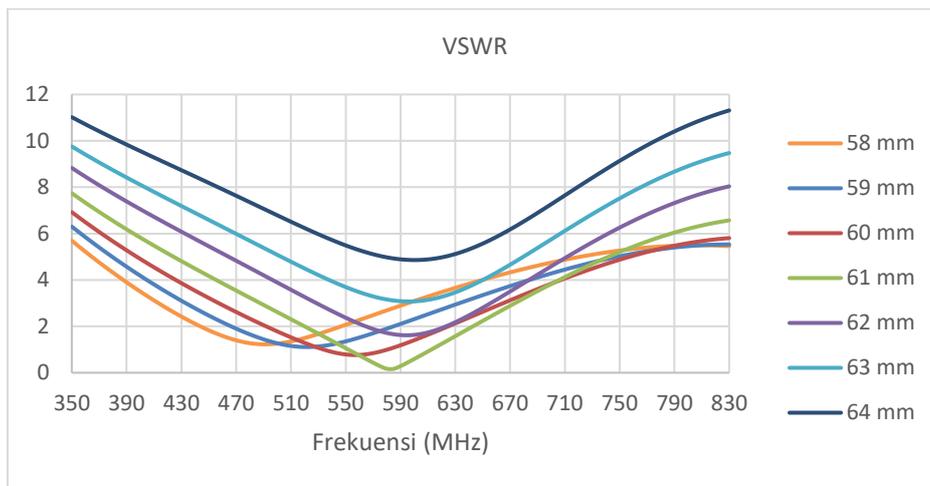
Gambar 5 (a) Tampak depan antenna mikrostrip menggunakan DGS (b) Tampak belakang antenna mikrostrip menggunakan DGS

3.3.1. Hasil optimasi desain menggunakan DGS

Perancangan model antenna mikrostrip patch circular menggunakan DGS dilakukan dengan tujuan untuk memperlebar bandwidth, dari yang sebelumnya adalah sebesar 11 MHz. Optimasi dalam penerapan metode DGS adalah dengan analisis parameter antenna, khususnya return loss dan VSWR. Analisis parameter antenna dilakukan dengan melakukan perubahan pada ukuran tinggi DGS (l_g) yang terletak pada sisi ground plane.



Gambar 6 Hasil tinggi DGS terhadap return loss



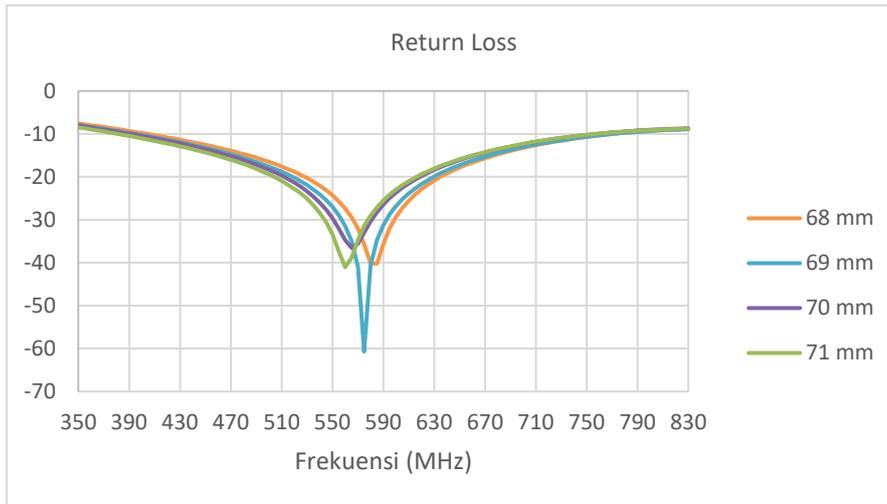
Gambar 7 Hasil tinggi DGS terhadap VSWR

Pada gambar 6 merupakan hasil optimasi desain pengaruh tinggi DGS terhadap *return loss*. Di mana nilai yang terbaik terdapat pada tinggi DGS (l_g) = 61 mm yang menghasilkan nilai *return loss* sebesar $-39,32$ dB- pada frekuensi tengah 586 MHz, *bandwidth* 385 MHz, nilai VSWR 0,19, dan *gain* sebesar 5,49 dBi. Dari hasil optimasi yang ditunjukkan pada gambar 6, dapat disimpulkan jika tinggi DGS (l_g) sangat mempengaruhi nilai-nilai parameter dari sebuah antenna, dan nilai terbaik dari tinggi DGS adalah sebesar 61 mm.

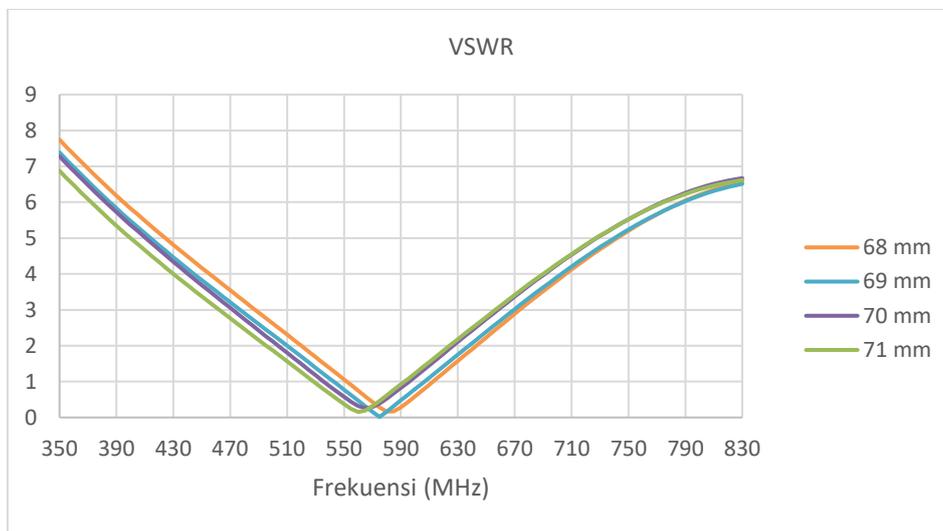
Tabel 5 Optimasi tinggi DGS

Optimasi tinggi DGS								
Radius (mm)	LG (mm)	WS (mm)	WS&LS (mm)	Frekuensi Tengah	Return loss (dB)	VSWR	Gain (dB)	Bandwith
68	58	272	272	490 MHz	-23.03	1.22	-1.09	460 MHz
68	59	272	272	525 MHz	-23.87	1.11	-1.85	460 MHz
68	60	272	272	560 MHz	-27.08	0.76	1.67	435 MHz
68	61	272	272	586 MHz	-39.32	0.19	5.49	365 MHz
68	62	272	272	590 MHz	-20.6	1.62	6.28	289 MHz
68	63	272	272	595 MHz	-15.13	3.07	1.34	218 MHz
68	64	272	272	600 MHz	-11.28	4.86	1.59	114 MHz

Dapat dilihat pada tabel 5 di atas jika tinggi DGS juga sangat berpengaruh terhadap parameter dari antenna yang dihasilkan. Semakin pendek tinggi dari DGS maka frekuensi kerja dari antenna akan semakin kecil juga dan sebaliknya semakin tinggi DGS maka frekuensi yang dihasilkan akan semakin besar juga, namun ketika meninggikan atau memendekkan dimensi dari DGS maka parameter dari *return loss* dan VSWR akan semakin jelek dimana nilai terbaik ketika tinggi DGS 61 mm.



Gambar 8 Hasil *return loss* optimasi jari-jari patch setelah menggunakan metode DGS

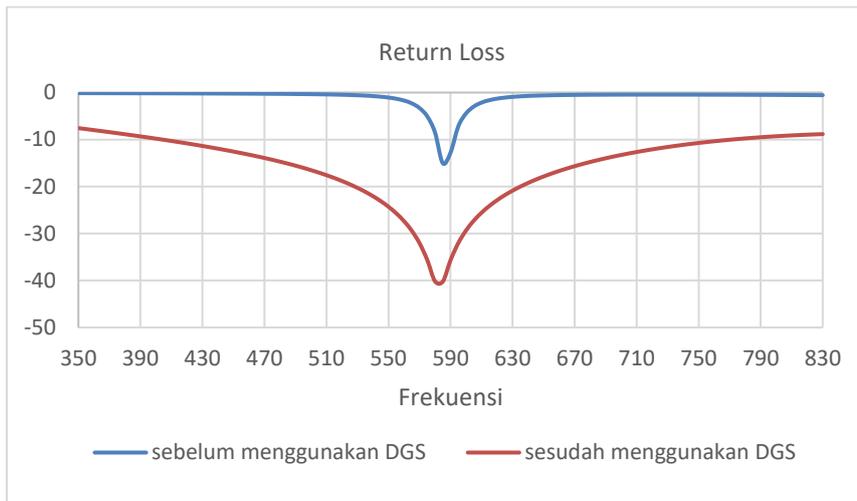


Gambar 9 Hasil VSWR optimasi jari-jari patch setelah menggunakan metode DGS

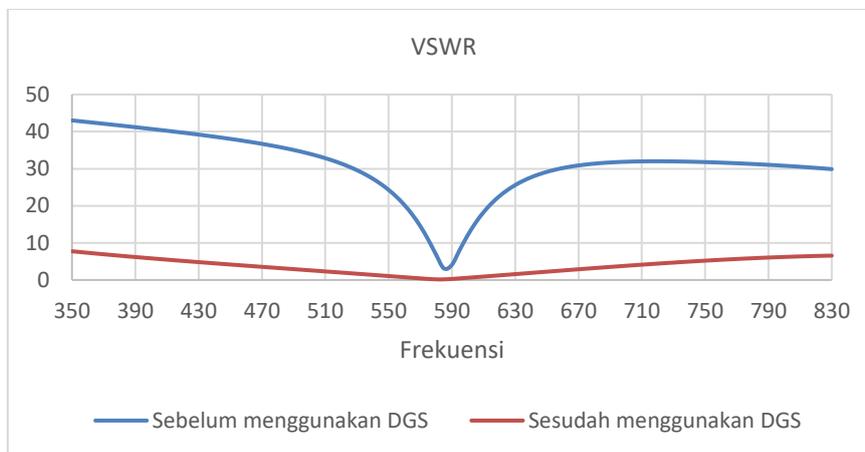
Pada gambar 8 merupakan grafik *return loss* optimasi jari-jari patch menggunakan DGS. Di mana hasil ketika menggunakan jari-jari patch 68 mm mendapatkan hasil frekuensi tengah pada 586 MHz, bandwidth 365 MHz, dan nilai *return loss* sebesar -39.32 dB. Nilai parameter antenna tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi awal yang telah ditentukan seperti ditunjukkan pada tabel 1. Pada gambar 9 menunjukkan bahwa nilai VSWR optimasi jari-jari patch setelah menggunakan DGS menggunakan jari-jari patch 68 mm mendapatkan nilai VSWR sebesar 0.19 pada frekuensi tengah 586 MHz, di mana nilai tersebut sudah memenuhi spesifikasi awal $VSWR \leq 2$.

Tabel 6 Hasil optimasi jari-jari patch setelah menggunakan metode DGS

Setelah Menggunakan Metode DGS								
Radius (mm)	LG (mm)	WS (mm)	WS&LS (mm)	Frekuensi Tengah	Return Loss (dB)	VSWR	GAIN (dB)	Bandwith
68	61	272	272	586 MHz	-39.32	0.19	5.49	365 MHz
69	61	276	276	575 MHz	-60.71	0.016	8.48	375 MHz
70	61	280	280	565 MHz	-36.53	0.25	1	370 MHz
71	61	284	284	560 MHz	-41.04	0.15	1.25	370 MHz



Gambar 10 perbandingan *return loss* sebelum dan setelah menggunakan DGS



Gambar 11 perbandingan VSWR sebelum dan setelah menggunakan DGS

Pada gambar 10 nilai *return loss* dapat dilihat grafik sebelum dan sesudah menggunakan metode dimana sebelum menggunakan metode DGS *return loss* pada frekuensi 586 MHz sebesar -14.56 dB dengan bandwidth yang dihasilkan hanya 11 MHz, VSWR 3.32 dan gain -5.45 dbi. Sedangkan ketika menggunakan metode DGS terdapat peningkatan parameter menjadi lebih baik lagi, *return loss* pada frekuensi 586 MHz -39.32 Db, dengan nilai bandwidth yang dihasilkan menjadi 365 MHz, VSWR sebesar 0.19 dan gain 5.49 Dbi. Dari data tersebut metode DGS terbukti dapat meningkatkan bandwidth yang dihasilkan. Sehingga desain antenna mikrostrip *patch circular* dengan meted DGS cocok diterapkan pada aplikasi DVB-T2.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, dapat disimpulkan bahwa jari-jari *patch* sangat berpengaruh pada frekuensi kerja dari antenna tersebut, semakin besar jari-jari *patch* maka frekuensi yang dihasilkan akan kecil. Sebaliknya, semakin kecil jari-jari *patch*, maka frekuensi yang dihasilkan semakin besar. Sebelum menggunakan metode DGS, nilai *return loss* diperoleh nilai -14.56 dB, VSWR 3.32 dan *gain* sebesar -5.45 dbi. Selanjutnya, pada desain antenna dengan menggunakan metode DGS menunjukkan nilai *return loss* -39.32 dB, VSWR 0.19, dan *gain* sebesar 5.49 dbi. Berdasarkan perbandingan nilai parameter antenna sebelum dan setelah menggunakan metode DGS, diperoleh perbaikan nilai parameter yang sesuai dengan spesifikasi awal yang diharapkan. Pada simulasi tersebut metode DGS terbukti dapat meningkatkan

bandwidth, dari yang sebelumnya hanya sebesar 11 MHz menjadi 365 MHz, serta dapat memperkecil nilai *return loss*. Dimensi tinggi dari DGS juga berpengaruh terhadap *bandwidth* dan nilai *return loss* dari sebuah antena.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Bagus and A. Y. Bagaskara, "Perancangan Antena Mikrostrip Rectangular Patch Sebagai Penerima Televisi," *J. Penelit.*, vol. 5, no. 1, pp. 11–20, 2020, doi: 10.46491/jp.v5e1.482.11-20.
- [2] J. M. Martripagelardo, Dedy Suryadi, F Trias Pontia W, Fitri Imansyah, "Identifikasi Penerimaan Sinyal Antena Digital Untuk Televisi Menggunakan Metode Sinpo," *Jetc*, vol. 14, no. 2, 2019.
- [3] H. Miawarni, D. E. Setyawan, and E. Setijadi, "Rancang Bangun Tracking Antenna System Dengan Manual Tracking Untuk Set Top Box Dvb-T2," pp. 1–8, 2018.
- [4] KOMINFO, "Peraturan Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2019 Tentang Rencana Induk Frekuensi Radio Untuk Keperluan Penyelenggaraan Televisi Siaran Digital Terrestrial Pada Pita Frekuensi Radio Ultra High Frequency," vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [5] K. A. M. Karmugil, "Design of Circular Microstrip Patch Antenna for Ultra Wide Band Applications," no. 1, pp. 304–308, 2016.
- [6] D. Medianto and M. Y. Hardiman, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Triangular Metode Parasitic untuk Aplikasi LTE di Frekuensi 2,3 GHz," *J. Teknol. Elektro, Univ. Mercu Buana*, vol. 9, no. 2, pp. 109–116, 2018, [Online]. Available: <https://jte.mercubuana.ac.id/publications/327297/>
- [7] H. Herudin, "Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz untuk Aplikasi LTE (Long Term Evolution)," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 1, no. 1, p. 41, 2016, doi: 10.36055/setrum.v1i1.469.
- [8] M. Alaydrus, "Antena Prinsip dan Aplikasi," *Antena Prinsip dan Apl.*, p. 320, 2011.
- [9] B. B. Harianto, N. Pambudiyatno, P. Asih, B. Junipitoyo, and P. P. Surabaya, "Desain Antena Mikrostrip Circular Patch Menggunakan Insert Feeding Pada Frekuensi L-Band Untuk Aplikasi Psr," *J. Penelit. Politek. Penerbangan Surabaya Ed. XXX*, vol. 5, no. 4, pp. 240–249, 2020.
- [10] M. P. Supriadi, N. Madhatillah, and H. Ludiyati, "Pengaruh Defected Ground Structure (DGS) Geometri Vertikal terhadap Antena Mikrostrip Berbahan Material Dielektrik Artifisial," *Pros. 12th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 4–5, 2021.