

# Antena-Filter Hairpin dengan Peningkatan Perolehan untuk Aplikasi 5G

Gilang Bonie Wiryawan<sup>1</sup>, Kun Fayakun<sup>1</sup>, Harry Ramza<sup>1</sup>, Emilia Roza<sup>1</sup>,  
Mohd. Azman Zakaria<sup>2</sup>, dan Dwi Astuti Cahyasiwi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA  
Jl. Tanah Merdeka No. 6 Kampung Rambutan, Jakarta 13830, Indonesia

<sup>2</sup>Universiti Teknologi Petronas, Malaysia  
e-mail: dwi.cahyasiwi@uhamka.ac.id

**Abstrak**—Antena-filter mikrostrip merupakan gabungan antara antena dengan filter yang terintegrasi dan multifungsi. Sebagaimana antena mikrostrip lainnya, antena-filter mikrostrip memiliki kekurangan yaitu perolehan yang rendah dan lebar pita yang sempit. Untuk mengatasi perolehan yang rendah, maka penelitian ini mengusulkan penambahan *Artificial Magnetic Conductor* (AMC) yang diberi lapisan celah udara. Antena-filter terdiri dari sebuah radiator lingkaran yang diintegrasikan dengan dua buah resonator *hairpin*. Resonator terhubung dengan radiator secara langsung sedangkan antara resonator dengan pencatu 50-ohm terhubung secara kopel. AMC dengan struktur *split ring resonator* ditambahkan pada bagian atas antena dan diberi celah udara antara keduanya. AMC dirancang sebagai reflektor, fungsi reflektor ini menerima dan memantulkan gelombang ke radiator antena-filter sehingga dapat meningkatkan perolehan. Antena difabrikasi dan diukur dimana hasil pengukuran dengan penambahan AMC berhasil meningkatkan perolehan dari 6,4 dBi menjadi 13,88 dBi pada frekuensi 4,45 GHz. Selain peningkatan perolehan, AMC juga memperbesar lebar pita yang semula 105 MHz menjadi 125 MHz pada rentang frekuensi 3,99–4,525 GHz.

**Kata kunci:** *antena-filter, 5G, hairpin, peningkatan perolehan, superstrate*

**Abstract**—Microstrip antenna-filter is a combination of an antenna with an integrated and multifunctional filter. As with other microstrip antennas, microstrip filter antennas have the disadvantages of low gain and narrow bandwidth. To overcome this problem, the study proposes the addition of an Artificial Magnetic Conductor (AMC) combined with an air gap. The antenna-filter consists of a circular radiator integrated with two hairpin resonators. The resonator is connected to the radiator directly while the resonator to the 50-ohm supply is supplied in a coupling manner. AMC with a split ring resonator structure is added to the top of the antenna and an air gap is provided between the two. AMC is designed as a reflector; the function of this reflector is to receive and reflect waves to the antenna-filter radiator so that it can amplify the gain generated by the filter antenna. The measurement results with the addition of AMC succeeded in increasing the gain from 6.4 dBi to 13.88 dBi at 4.45 GHz frequency. In addition to increasing gain, AMC also increased the bandwidth from 105 MHz to 125 MHz in the frequency range of 3.99–4.525 GHz.

**Keywords:** *antenna-filter, 5G, gain enhancement, hairpin, superstrate*

## I. PENDAHULUAN

Teknologi telekomunikasi nirkabel berkembang dengan sangat cepat, diiringi dengan permintaan masyarakat terhadap perangkat komunikasi yang memiliki mobilitas tinggi dan efisien dalam segala aspek kehidupan [1]. Untuk menunjang permintaan tersebut maka dibutuhkan perangkat yang terintegrasi dan multi fungsi. Salah satu komponen pada rangkaian depan sistem nirkabel adalah antena dan filter yang secara konvensional merupakan dua rangkaian yang terpisah. Namun beberapa penelitian telah melakukan integrasi kedua komponen tersebut yang dikenal sebagai antena-filter [2]–[6].

Antena-filter merupakan desain bersama rangkaian

antena dengan filter yang terintegrasi dan multifungsi, sehingga antena ini memiliki keunggulan dibandingkan antena konvensional, diantaranya menghasilkan respon perolehan sebagaimana respon *bandpass* filter, memperkecil ukuran, mengurangi rugi-rugi penyambungan, dan menyederhanakan rancangan [7]. Antena adalah perangkat yang dapat mengirim dan menerima gelombang radio [8]. Filter (Tapis) adalah sirkuit yang berfungsi memproses sinyal tertentu dan melemahkan semua sinyal diluar pita tersebut selain itu filter dapat digunakan sebagai pemisah antara sinyal informasi dengan noise [9].

Beberapa jenis antena yang sering digunakan adalah antena kawat, antena *horn*, dan antena mikrostrip. Antena

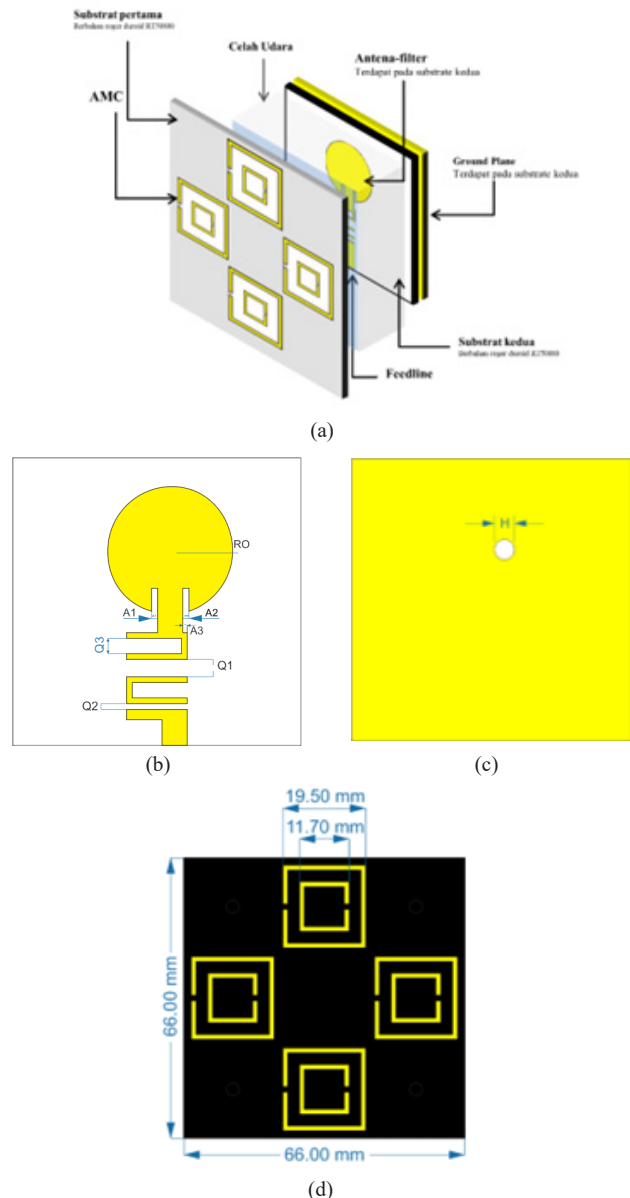
mikrostrip saat ini banyak digunakan karena bentuknya yang kecil, mudah difabrikasi dan biaya fabrikasi murah. Namun jenis antena mikrostrip ini memiliki beberapa kekurangan seperti perolehan yang rendah dan lebar pita yang sempit. Beberapa penelitian mengenai antena mikrostrip telah banyak dilakukan untuk mengatasi permasalahan rendahnya nilai perolehan. Kekurangan tersebut dapat diperbaiki dengan beberapa metode, pertama yaitu dengan menggunakan antena susun, dimana dua buah antena mikrostrip dengan radiator berbentuk lingkaran disusun untuk menghasilkan peningkatan perolehan sebesar 1,9 dB [8], [10]. Metode kedua adalah dengan penambahan *superstrate* yang diberi struktur metamaterial. Penambahan lapisan *superstrate* yang diletakkan di atas antena mikrostrip dapat meningkatkan perolehan antena dan efisiensi radiasi [11]. Sebuah antena berbentuk heksagonal dengan penambahan *superstrate* yang memiliki elemen parasitik persegi panjang mampu menghasilkan perolehan sampai dengan 14,6 dBi [12]. Pada [13] penggunaan AMC struktur 4×4 mampu meningkatkan perolehan sebesar 5 dB pada frekuensi 5,2 GHz sampai 5,45 GHz. Namun seluruh antena tersebut tidaklah mengintegrasikan antena dengan filter. Integrasi antena dan filter dengan penambahan *superstrate* untuk meningkatkan perolehan telah dilakukan pada [14], namun perolehan maksimal yang dapat diperoleh hanyalah 7,5 dBi dan selektifitas yang dihasilkan tidak mewakili respon sebuah antena filter karena tidak terbentuk respon filter *bandpass*.

Dari beberapa penelitian terdahulu AMC berhasil untuk meningkatkan perolehan pada antena konvensional, sehingga hipotesa yang diajukan adalah bahwa AMC juga dapat meningkatkan perolehan pada antena-filter. Pada penelitian terdahulu antena-filter dengan radiator berbentuk lingkaran dan resonator *hairpin* menghasilkan lebar pita 98 MHz dan perolehan 6,8 dBi dengan respon perolehan menyerupai filter *bandpass* [15]. Untuk meningkatkan parameter lebar pita dan perolehan antena-filter tersebut, maka penelitian ini mengajukan metode penambahan AMC pada antena filter yang berbeda yaitu *split ring resonator* (SRR) 2×2 yang ditempatkan di atas antena-filter dengan radiator lingkaran dan resonator *hairpin* yang dipisahkan oleh celah udara. Antena-filter ini beroperasi pada frekuensi kerja 4,45 GHz untuk aplikasi 5G.

## II. DESAIN ANTENA-FILTER DENGAN PENAMBAHAN AMC

### A. Struktur Geometri Antena-filter

Perancangan antena-filter dengan *superstrate* AMC melalui beberapa proses, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 (a) dimana lapisan substrat pertama terletak AMC dengan struktur *split ring resonator* tersusun dalam matrik 2 × 2. Selanjutnya terdapat celah udara setinggi 12,79 mm yang memisahkan substrat AMC dengan substrat antena-filter. Pada substrat terbawah terdapat antena-filter yang terdiri dari sebuah radiator lingkaran terintegrasi



Gambar 1. (a) Struktur lapisan antena, (b) desain antena-filter tampak depan dan (c) belakang, dan (d) AMC dengan 4 SRR tampak atas.

dengan dua buah resonator *hairpin*. Resonator tersebut terhubung dengan radiator secara langsung sedangkan antara resonator dengan pencatu 50-ohm terhubung secara kopel. Dimensi antena yang diajukan dapat dilihat pada Gambar 1 (b) dan (c) dimana sebuah radiator berbentuk lingkaran dengan jari-jari sebesar 12,4 mm, jarak antara resonator dengan pencatu 50-ohm terhubung secara kopel dengan resonator *hairpin* pertama ( $Q_1$ ) = 1,15 mm, jarak celah antara resonator pertama dan kedua ( $Q_2$ ) = 3,4 mm, jarak antara lengan resonator ( $Q_3$ ) = 3 mm, celah *inset feeding* ( $A_1$  dan  $A_2$ ) = 1,2 mm, jarak saluran transmisi ke radiator dengan pangkal resonator kedua ( $A_3$ ) = 0,85 mm, dan diameter lingkaran *defected ground structure* (DGS)  $H$  = 2 mm. Antena-filter dicetak pada substrat berukuran 55 mm × 55 mm. Struktur lapisan AMC dengan 4 buah SRR dapat dilihat pada Gambar 1(d), dimana seluruh elemen dibuat di atas lapisan substrat berukuran 66 mm × 66 mm. Seluruh disain antena-filter dengan *superstrate* ini menggunakan substrat Roger

Duroid RT5880 dengan konstanta dielektrik 2,2, ketebalan 1,575 mm dan disimulasikan menggunakan CST Studio.

### B. Perancangan Antena Lingkaran

Fungsi logaritmik elemen peradiasi ( $F$ ) dirancang menggunakan pendekatan perhitungan menggunakan persamaan (1) [16], dimana ( $fr$ ) merupakan frekuensi resonansi dan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik. Jari-jari lingkaran ( $a$ ) yang beroperasi pada frekuensi 4,45 GHz dapat dihitung menggunakan pendekatan persamaan (2), dimana  $h$  adalah ketebalan substrat yang digunakan kemudian  $F$  merupakan fungsi logaritmik elemen peradiasi.

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{fr \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r} \ln\left(\frac{\pi f}{2h}\right) + 1.77726\right\}^2} \quad (2)$$

Perhitungan dua persamaan diatas menghasilkan antena lingkaran dengan jari-jari 12,4 mm untuk beresonansi pada frekuensi 4,45 GHz. Pada bagian selanjutnya akan dijelaskan bagaimana mendesain sebuah resonator *hairpin* yang beroperasi pada frekuensi 4,45 GHz.

### C. Resonator Hairpin

Filter *hairpin* memiliki struktur yang tersusun dan dihubungkan oleh resonator paralel dengan panjang setengah panjang gelombangnya. Filter ini memiliki bentuk resonator filter “U”, Saat dua lengan resonator *hairpin* dihitung maka keduanya berfungsi sebagai sepasang saluran yang terkopel [17]. Panjang resonator *hairpin* seperti pada Gambar 2 dapat dicari menggunakan pendekatan (3),

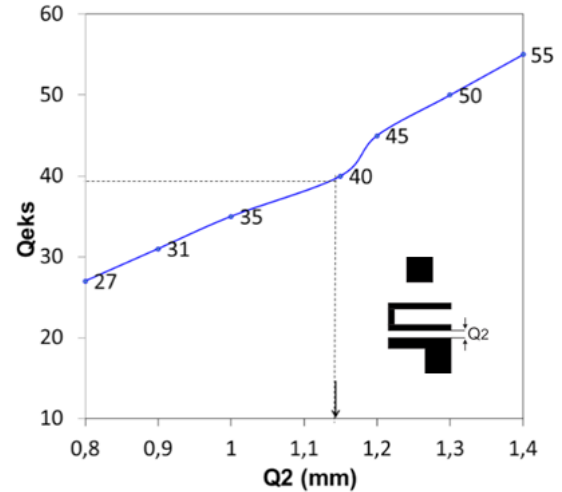
$$\lambda_{go} = \frac{300}{f(\text{GHz})\sqrt{\epsilon_{re}}} \text{ mm} \quad (3)$$

Saat konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{re}$ ) diketahui maka panjang gelombang pada ruang bebas ( $\lambda_{go}$ ) pada frekuensi kerja ( $f$ ) dapat dihitung. Elemen tunggal dari resonator *hairpin* ini dapat dijadikan acuan awal dalam melakukan ekstraksi kualitas eksternal ( $Q_{eks}$ ). Ekstraksi  $Q_{eks}$  merupakan pemberian catu dengan dua terminal pada sebuah resonator yang terhubung kopel sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 3.

$$Q_{eks} = \frac{g_n g_{n+1}}{FBW} \quad (4)$$



Gambar 2. Resonator hairpin



Gambar 3. Nilai ekstraksi  $Q_{eks}$  menggunakan dua terminal

$$FBW = \frac{Bw}{Fo} \quad (5)$$

$$M_{i,i+1} = \frac{FBW}{\sqrt{g_i g_{i+1}}} \quad (6)$$

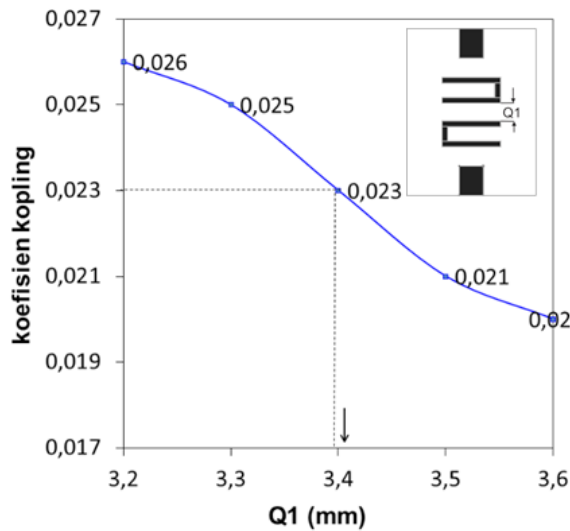
$$M_{n,n+1} = \frac{f_{n+1}^2 - f_n^2}{f_{n+1}^2 + f_n^2} \quad (7)$$

Nilai  $Q_{eks}$  dapat dihitung menggunakan persamaan (4) [18] dimana FBW pada persamaan (5) merupakan *fractional bandwidth*,  $Bw$  adalah lebar pita,  $Fo$  menunjukkan nilai frekuensi tengah, dan  $g_n$  adalah nilai elemen filter *lowpass* yang digunakan pada tabel standar *Chebyshev* ordo tiga dengan riak 0,1 dB. Dari hasil ekstraksi  $Q_{eks}$  maka diperoleh nilai antara *feed line* ke resonator pertama adalah 40,590825.

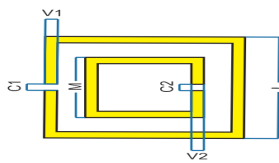
Setelah mendapatkan nilai  $Q_{eks}$ , proses selanjutnya adalah perhitungan ekstraksi kualitas radiasi ( $Q_{rad}$ ) serta kopling antara antena dan resonator ( $M_{n,n+1}$ ). Nilai kopling antara resonator dapat dihitung menggunakan pendekatan (6) dan (7) [18], dimana ( $f_{n+1}$ ) nilai frekuensi kedua dan ( $f_n$ ) adalah nilai frekuensi pertama seperti pada Gambar 4. Dari kelima persamaan tersebut maka diperoleh jarak ekstraksi  $Q_{eks}$  sebesar 1,15 mm sebagaimana dilihat pada Gambar 3 dari pertemuan garis putus-putus dan jarak antar kopling antena dan resonator sebesar 3,4 mm seperti terlihat dalam Gambar 4 di pertemuan garis putus-putus. Nilai  $Q_{eks}$  harus sama dengan ( $Q_{rad}$ ), agar radiator dan sirkuit resonator (filter) memiliki kondisi *match* [15].

### D. Artificial Magnetic Conductor

*Artificial Magnetic Conductor* (AMC) merupakan lapisan yang memiliki permukaan yang terstruktur dan mempunyai permukaan impedansi tinggi. Permukaan AMC bertindak mirip bidang dasar logam biasa di luar lebar pitanya. Permukaan konduktor magnetik buatan dapat mengembalikan gelombang berdasarkan pergeseran fasa  $0^\circ$  ( $\Gamma = +1$ ) dalam pita tertentu dan dikontrol dengan



Gambar 4. Nilai ekstraksi kopling antara dua resonator hairpin



Gambar 5. Desain elemen tunggal AMC

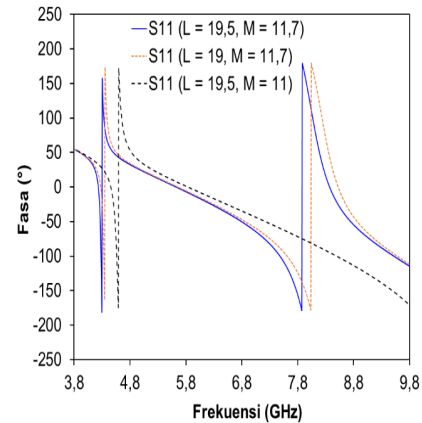
sel satuannya (blok penyusun terkecil dalam struktur periodik) parameter [19]. *Reflection phase* bernilai  $\pm 90^\circ$  didefinisikan sebagai lebar pita AMC karena gelombang yang dipantulkan tidak keluar dari gelombang datang dalam rentang frekuensi [20]. Perancangan AMC seperti pada Gambar 5 dapat dihitung menggunakan pendekatan (8) dan (9) dimana saat nilai tebal ring ( $t$ ), urutan ring ( $n$ ), dan jarak antar ring ( $s$ ) diketahui maka nilai panjang ring ( $L$ ) dapat dihitung. Setelah mendapatkan nilai  $L$ , maka dapat dihitung apakah ring tersebut beresilansi pada frekuensi ( $f$ ) yang diinginkan.

$$f = \frac{\epsilon r}{2L\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (8)$$

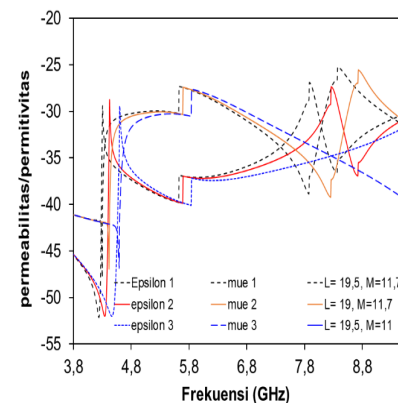
$$L = 4[l - 2t(n-1) - 2s(n-1)] \quad (9)$$

Mengacu pada definisi diatas, maka perancangan AMC harus memenuhi nilai *reflection phase*  $\pm 90^\circ$  dan nilai permeabilitas dan permitivitas *negative* agar dapat meningkatkan perolehan dalam rentang frekuensi kerja. Untuk mencapai hal tersebut peneliti merancang dua buah *split ring resonator* (SSR) dengan celah yang saling berlawanan. Studi parameter untuk hasil *Reflection phase*  $\pm 90^\circ$  terdapat pada Gambar 6 dimana dimensi panjang sisi luar  $L = 19,5$ , panjang sisi dalam  $M = 11,7$  dengan celah  $C = 1$  (dalam satuan mm) dari hasil simulasi menunjukkan bahwa single element dari AMC sudah memenuhi nilai *reflection phase* yang diinginkan.

Studi parameter permeabilitas dan permitivitas dapat dilihat pada Gambar 7 dimana perbedaan sisi cincin bagian luar dan dalam sedikit berpengaruh terhadap nilai permitivitas dan permeabilitas namun masih dalam kondisi



Gambar 6. Studi parameter reflection phase element tunggal AMC



Gambar 7. Parameter permeabilitas dan permitivitas element tunggal AMC

negatif. Sebagaimana halnya dengan kurva fasa refleksi, kurva permeabilitas dan permitivitas mencapai  $L$  dan  $M$  optimum untuk kondisi *double negative* pada  $L = 19,5$  mm dan  $M = 11,7$  mm. Pada kondisi ini lapisan *superstrate* diharapkan tidak mengurangi efisiensi dari parameter antenna seperti lebar pita dan perolehan karena karakter dari DNG ini dapat mereduksi dimensi dan dapat menekan gelombang di permukaan sehingga dapat meningkatkan perolehan.

Setelah karakter elemen tunggal SRR diperoleh selanjutnya adalah penyusunan elemen tersebut pada lapisan *superstrate*. Empat buah SRR pada lapisan *superstrate* disusun secara simetri pada tiap sisi substrat menghasilkan ruang kosong tanpa elemen SRR di pusat lapisan substrat. Proses optimasi dilakukan agar menghasilkan perolehan yang maksimum, dengan mengubah parameter AMC sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1(d), dan Tabel

Tabel 1. Dimensi elemen AMC

| Parameter            | Dimensi (mm) |
|----------------------|--------------|
| Lebar Ring 1 (L)     | 19,50        |
| Tebal Ring 1 (V1)    | 1            |
| Lebar Ring 2 (M)     | 17,70        |
| Tebal Ring 2 (V2)    | 1            |
| Cut Ring (C1 dan C2) | 1            |

1 sehingga memenuhi karakter yang diharapkan dalam perancangan elemen tunggal AMC.

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} \right) \quad (10)$$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (11)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{4.45 \times 10^8} = 0,0674m = 67,4mm$$

#### E. Perhitungan Celah Udara

Celah udara merupakan celah pemisah antara antena dan substrat, celah udara diletakkan antara radiasi elemen dengan *ground plane*. Perhitungan celah udara dilakukan untuk optimasi jarak yang sesuai antara antena-filter dengan AMC. Adapun persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung *effective dielectric constant* pada celah udara yaitu [21] saat nilai ( $\epsilon_r$ ) merupakan konstanta dielektrik dan  $h$  merupakan tebal substrat diketahui maka nilai ( $\epsilon_{eff}$ ) dapat dihitung. Setelah mendapatkan nilai ( $\epsilon_{eff}$ ) proses selanjutnya menghitung ( $\lambda_0$ ) dimana ( $c$ ) merupakan intensitas kecepatan cahaya dan ( $f$ ) adalah frekuensi tengah yang digunakan. Mengacu pada persamaan (10) dan (11) diatas maka nilai efektif konstanta dielektrik dan jarak celah udara menjadi:

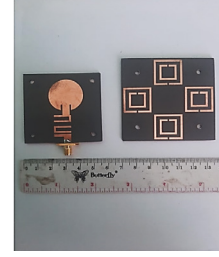
$$\epsilon_{eff} = \frac{2.2+1}{2} + \frac{2.2-1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1+12 \left( \frac{1.575}{1} \right)}} \right) = 1,7345$$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{67,4}{4\sqrt{1,7345}} = 12,79mm$$

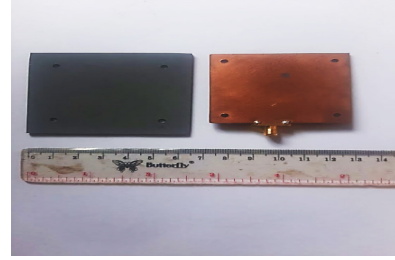
Maka didapatkan hasil perhitungan jarak celah udara adalah 12,79 mm.

#### F. Fabrikasi Antena-Filter dengan AMC

Fabrikasi dapat dilakukan setelah memperoleh hasil optimal dari simulasi. Hasil fabrikasi antena filter dengan penambahan AMC dapat dilihat pada Gambar 8 menunjukkan tampak atas dari antena-filter dan superstrat AMC dengan *split ring resonator*. Gambar 9 memperlihatkan tampak belakang superstrate AMC yang dikupas lapisan tembaganya dan antena-filter dengan DGS berdiameter 2 mm tepat di bawah pusat lingkaran radiator lingkaran, fungsi DGS di sini adalah untuk memperbaiki nilai S11 agar menjadi lebih rendah. Gambar 10 memperlihatkan lapisan superstrate yang terdiri dari 4 elemen SRR dan Gambar 11 memperlihatkan penggabungan antena-filter dan lapisan superstrate dengan



Gambar 8. Tampak depan antena-filter dan AMC



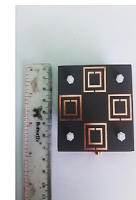
Gambar 9. Tampak belakang antena-filter dan AMC

celah udara. Untuk memvalidasi hasil perancangan maka antena difabrikasi dan diukur di ruang anechoic chamber Laboratorium Telekomunikasi Departemen Elektro Universitas Indonesia menggunakan VNA Rohde & Schwarz ZNB 40.

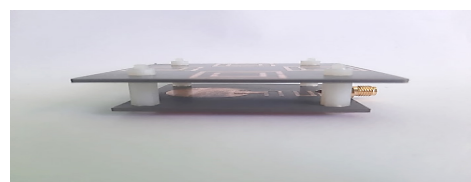
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi dan pengukuran untuk parameter S11, perolehan dan pola radiasi. Gambar 12 memperlihatkan hasil simulasi antena-filter tanpa AMC yang menunjukkan parameter S11 pada frekuensi 4,45 GHz sebesar -16,34 dB, sementara dengan penambahan metode AMC menaikkan nilai S11 menjadi -11,82 dB. Lebar pita impedansi -10 dB tanpa AMC (garis merah putus-putus) diperoleh pada rentang 4,3915 – 4,484 GHz atau sebesar 93 MHz, dan dengan penambahan AMC (garis merah) tidak mengubah lebar pita impedansinya meskipun bergeser ke rentang frekuensi yang lebih tinggi pada rentang 4,403 – 4,4965 GHz.

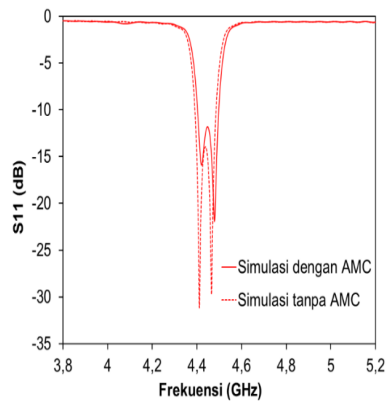
Pengukuran antena-filter tanpa AMC menghasilkan S11 sebesar -13,2 dB pada frekuensi 4,45 GHz, sedangkan



Gambar 10. Tampak atas antena-filter dan AMC setelah digabung



Gambar 11. Tampak samping antena-filter dan AMC setelah digabung

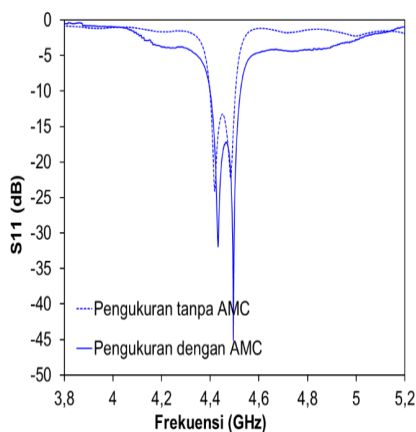


Gambar 12. Perbandingan hasil simulasi S11

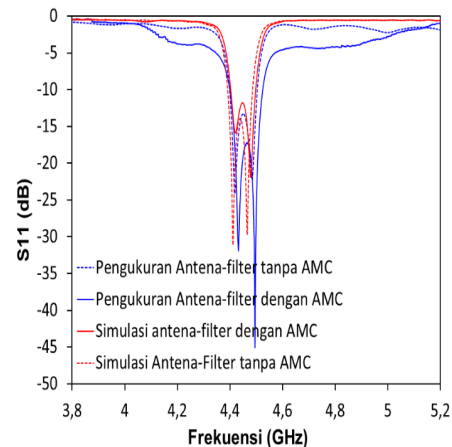
antena-filter dengan AMC menghasilkan S11 sebesar -18,9 dB pada frekuensi yang sama sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 13. Hal tersebut menunjukkan bahwa S11 pengukuran dengan AMC lebih baik 5,7 dB dibandingkan tanpa AMC. Lebar pita impedansi -10 dB antenna-filter hasil pengukuran tanpa AMC sebesar 105 MHz pada rentang 4,390 -4,486 GHz, sedangkan dengan penambahan AMC meningkat menjadi 125 MHz pada rentang 4,399 – 4,525 GHz. Dari sini terlihat bahwa penambahan AMC menyebabkan peningkatan lebar pita sebesar 19%. Sementara Gambar 14 membandingkan hasil simulasi (garis merah) dan pengukuran (garis biru) parameter S11 antenna-filter tanpa menggunakan AMC dan dengan AMC. Grafik S11 menunjukkan hasil pengukuran dan simulasi yang sesuai baik saat antenna-filter tanpa AMC atau dengan menggunakan AMC.

#### A. Perolehan (gain)

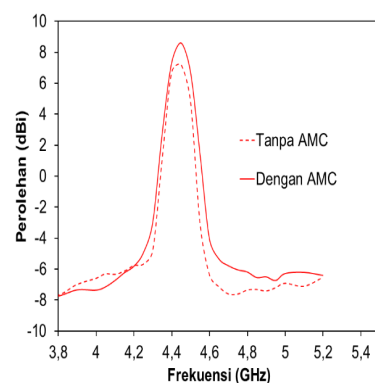
Gambar 15 merupakan hasil simulasi perolehan (*gain*) antenna-filter tanpa AMC yang memperoleh nilai 7,2 dBi sedangkan perolehan dengan penambahan AMC sebesar 8,6 dBi pada frekuensi 4,45 GHz. Dapat dilihat bahwa penambahan AMC pada simulasi berhasil menaikkan perolehan sebesar 1,4 dB pada frekuensi 4,45 GHz, sementara secara umum AMC juga meningkatkan perolehan pada pita frekuensi atas. Gambar 16 merupakan



Gambar 13. Perbandingan hasil pengukuran S11



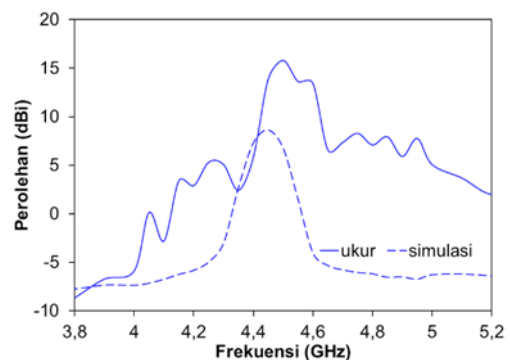
Gambar 14. Perbandingan S11 simulasi dan pengukuran



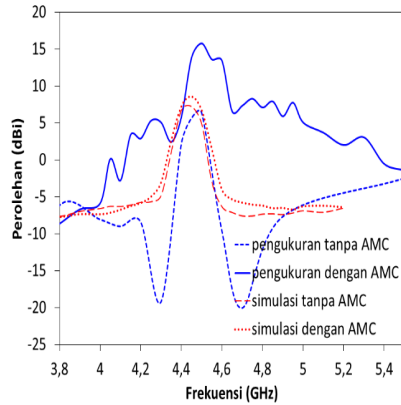
Gambar 15. Perbandingan hasil simulasi perolehan tanpa menggunakan AMC dan dengan AMC

perbandingan hasil simulasi (garis biru putus-putus) dengan pengukuran (garis biru) perolehan antenna-filter dengan AMC. Hasil simulasi menunjukkan respon kurva perolehan yang datar pada lebar pita operasi, dengan nilai maksimum 8,6 dBi pada frekuensi 4,45 GHz. Sedangkan pengukuran perolehan antenna-filter dengan AMC menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan simulasi, dimana nilai maksimal yang dihasilkan sebesar 13,88 dBi pada frekuensi 4,45 GHz dan menurun tajam pada 4,65 GHz menjadi 6,61 dBi. Hasil pengukuran perolehan mengalami peningkatan 5,28 dB dibandingkan simulasi.

Gambar 17 menunjukkan perbandingan antara simulasi (kurva merah) dan pengukuran (kurva biru)



Gambar 16. Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi perolehan menggunakan AMC



Gambar 17. Perbandingan hasil perolehan tanpa AMC dan dengan AMC untuk pengukuran dan simulasi

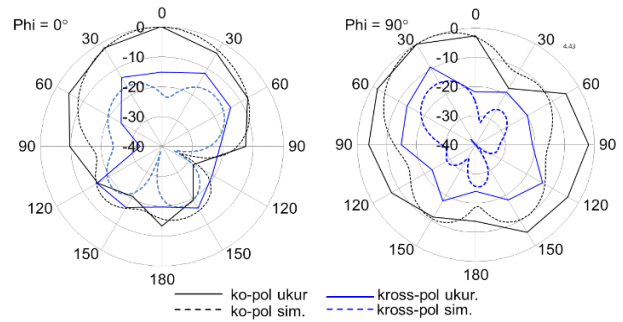
Tabel 2. Perbandingan hasil perolehan antena-filter simulasi dan pengukuran

| Parameter              | Simulasi  |            | Pengukuran |            |
|------------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                        | tanpa AMC | dengan AMC | tanpa AMC  | dengan AMC |
| S11 (dB) pada 4,45 GHz | -16,34    | -11,82     | -13,27     | -18,91     |
| Lebar Pita (MHz)       | 94,8      | 93,3       | 105        | 125        |
| Perolehan (dBi)        | 7,2       | 8,6        | 5,64       | 13,92      |

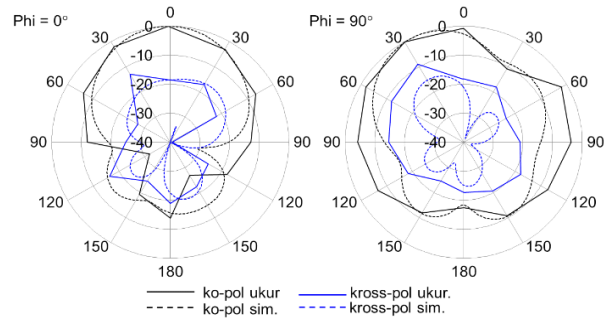
dari antena-filter tanpa menggunakan AMC dan dengan menggunakan AMC. Perbedaan perolehan yang signifikan terjadi antara hasil pengukuran menggunakan AMC dan tanpa AMC, dikarenakan penambahan AMC disertai dengan penambahan celah udara antara lapisan antena-filter dan lapisan *superstrate*. Keberadaan celah udara ini sering mengakibatkan hasil pengukuran perolehan jauh berbeda dengan simulasi. Untuk merangkum pengaruh penambahan AMC pada antena-filter maka Tabel 2 menjelaskan perbedaan parameter S11, *lebar pita* dan perolehan pada frekuensi 4,45 GHz, baik itu pada simulasi dan pengukuran. Lebar pita operasi antena-filter tanpa AMC dan dengan AMC pada hasil simulasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, namun pada hasil pengukuran terdapat peningkatan sampai 20 MHz. Nilai perolehan antena-filter tanpa dan dengan menggunakan AMC menunjukkan peningkatan sampai dengan 1,4 dB aka tetapi pada hasil pengukuran peningkatan mencapai 8,24 dB.

#### B. Pola Radiasi

Gambar 18 dan Gambar 19 menunjukkan pola radiasi filter antena dengan AMC pada frekuensi 4,43 GHz dan 4,49 GHz. Pola radiasi hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan penguatan ke satu arah. Pada  $\phi = 0^\circ$  arah penguatan maksimum berada pada  $\theta = 0^\circ$  sedangkan pada  $\phi = 90^\circ$  arah penguatan utama ada pada  $\theta = -30^\circ$  baik pada frekuensi 4,43 GHz maupun 4,49 GHz. Pada  $\phi = 0^\circ$  diperoleh nilai *cross polarization discriminant* (XPD) sebesar 22 dB sedangkan pada  $\phi = 90^\circ$  sebesar 15 dB pada



Gambar 18. Pola radiasi frekuensi 4,43 GHz  $\phi = 0^\circ$  dan  $\phi = 90^\circ$



Gambar 19. Pola radiasi frekuensi 4,49 GHz  $\phi = 0^\circ$  dan  $\phi = 90^\circ$

frekuensi 4,43 GHz. Pada frekuensi 4,49 GHz nilai XPD pada  $\phi = 0^\circ$  sebesar 18 dB sedangkan pada  $\phi = 90^\circ$  sebesar 20 dB dan nilai ini telah divalidasi dengan hasil pengukuran.

#### IV. KESIMPULAN

Antena-filter yang beroperasi pada frekuensi 4,45 GHz telah dirancang dengan menggunakan resonator *hairpin* dan radiator berbentuk lingkaran, selanjutnya ditambahkan dengan superstrat AMC yang diberi celah udara untuk peningkatan perolehan. Penambahan AMC pada antena-filter menunjukkan peningkatan perolehan pengukuran sebesar 8,28 dB dari semula 5,64 dBi menjadi 13,92 dBi. pada frekuensi 4,45 GHz. Selain itu antena-filter dengan AMC menghasilkan peningkatan lebar pita sebesar 20 MHz dari 105 MHz menjadi 125 MHz pada rentang frekuensi 4,399–4,525 GHz. Antena-filter ini memiliki pola radiasi *unidirectional* dengan penguatan maksimum ke arah  $\theta = 0^\circ$  dan nilai XPD sebesar 22 dB. Hal ini menjawab hipotesa bahwa penambahan superstrat dengan struktur AMC dapat meningkatkan perolehan pada antena-filter sebagaimana pada antena konvensional.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini sebagian didukung dari Hibah Penelitian Internal Universitas Muhammadiyah Prof Dr. HAMKA No kontrak: 778/F.03.07/2021. Terima kasih kepada Universiti Teknologi Petronas, Malaysia atas dukungannya dalam menyediakan software CST.

## REFERENSI

- [1] Widiyanto, D. A. Cahyasiwi, and E. Roza, "Perancangan Antena Mikrostrip MIMO Polarisasi  $\pm 45^\circ$  0," *Akta Teknik Elektro*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [2] D. A. Cahyasiwi, F. Y. Zulkifli, and E. T. Rahardjo, "Switchable Slant Polarization Filtering Antenna Using Two Inverted Resonator Structures for 5G Application," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 224033–224043, 2020.
- [3] Y. Luo, T. Yin, N. Yan, W. An, and K. Ma, "A Low-Cost Differentially Fed Dual-Mode Filtering MIMO Antenna with Enhanced Isolation Based on SISL Platform," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 21, no. 1, pp. 198–202, 2022.
- [4] G. Z. Liang, F. C. Chen, H. Yuan, K. R. Xiang, and Q. X. Chu, "A High Selectivity and High Efficiency Filtering Antenna with Controllable Radiation Nulls Based on Stacked Patches," *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 70, no. 1, pp. 708–713, 2022.
- [5] D. A. Cahyasiwi, E. Roza, M. Mujirudin, N. M. Nashuha, F. Y. Zulkifli, and E. T. Rahardjo, "Selectivity improvement of interdigital filtering-antenna using different orders for 5 G application," *Int J Microw Wirel Technol*, pp. 1–9, Nov. 2022.
- [6] R. Verma and R. P. S. Gangwar, "Review on UWB microstrip Filtennas," *Pantnagar Journal of Research*, vol. 18, no. 1, pp. 95–102, 2020.
- [7] A. Alhegazi, "Compact UWB filtering-antenna with controllable WLAN band rejection using defected microstrip structure," *Radioengineering*, vol. 27, no. 1, pp. 110–117, 2018.
- [8] W. Wildan, D. A. Cahyasiwi, S. Alam, M. A. Zakariya, and H. Ramza, "Circle Microstrip Antenna Simulation for Frequency 3.5 GHz," *Electrical Engineering Acta*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4, 2021.
- [9] Y. Rafsyam, "Rancang Bangun Bandpass Filter dengan Metode Interdigital untuk Mengoptimalkan Sinyal 4G Long Term Evolution (LTE) pada Frekuensi 1,8 GHz," *Orbith*, vol. 16, no. 3, pp. 171–176, 2020.
- [10] W. Wildan, D. A. Cahyasiwi, H. Ramza, S. Alam, and M. A. Zakariya, "Design of Rectifier Antenna (RECTENNA) for Electromagnetic Energy Harvesting at Frequency of 3500 MHz," *Electrical Engineering Acta*, vol. 1, no. 1, pp. 5–12, 2021.
- [11] A. K. Singh, M. P. Abegaonkar, and S. K. Koul, "High-Gain and High-Aperture-Efficiency Cavity Resonator Antenna Using Metamaterial Superstrate," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 16, pp. 2388–2391, 2017.
- [12] L. Leszkowska, M. Rzymowski, K. Nyka, and L. Kulas, "High-Gain Compact Circularly Polarized X-Band Superstrate Antenna for CubeSat Applications," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 20, no. 11, pp. 2090–2094, 2021.
- [13] F. Mouhouche, A. Azrar, M. Dehmas, and K. Djafer, "Gain enhancement of monopole antenna using AMC surface," *Advanced Electromagnetics*, vol. 7, no. 3, pp. 69–74, 2018.
- [14] I. Suryarajitha, Ruchi, R. K. Panigrahi, and M. V. Kartikeyan, "A dual-band filtenna with improved gain using AMC for 5G sub-6 GHz applications," *Int J Microw Wirel Technol*, pp. 1–9, 2022.
- [15] D. A. Cahyasiwi and E. T. Rahardjo, "Circular Patch Filtering Antenna Design Based on Hairpin Band-Pass Filter," in *International Symposium on Antenna and Propagation*, 2018, pp. 263–264.
- [16] C. A. Balanis, *Antenna theory; analysis and design*, vol. 72, no. 7, 2008.
- [17] F. C. Sitompul and A. H. Rambe, "Rancang Bangun Band Pass Filter Dengan Metode Hairpin Menggunakan Saluran Mikrostrip Untuk Frekuensi 2,4-2,5 Ghz," *Singuda ENSIKOM*, vol. 8, no. 3, pp. 177–182, 2014.
- [18] J. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF / Microwave Applications*. 2004.
- [19] M. Iyer, "Compact Antenna with Artificial Magnetic Conductor for Noninvasive Continuous Blood Glucose Monitoring," 2018.
- [20] M. Manoj and M. Remsha, "Artificial magnetic conductor-backed dual band antenna for wireless Applications," *2019 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference, AP-RASC 2019*, no. March, pp. 1–4, 2019.
- [21] K. Ozenc and M. E. Aydemir, "Design of a 1.26 GHz High Gain Microstrip Patch Antenna Using Double Layer with Airgap for Satellite Reconnaissance," in *International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 2013, pp. 499–504.