

Filtering Power Divider menggunakan Filter SIW untuk Aplikasi WLAN 5,8 GHz

HARDI NUSANTARA¹, ARIEF BUDI SANTIKO^{2,3}, ACHMAD MUNIR³

¹Laboratorium Telematika, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi,

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung, Indonesia

³Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Email: hardi@stei.itb.ac.id

Received 8 Maret 2021 | *Revised* 11 April 2021 | *Accepted* 22 April 2021

ABSTRAK

Dalam makalah ini dikembangkan sebuah pembagi daya yang terintegrasi dengan proses filtering yang dinamakan Filtering Power Divider (FPD) untuk mendapatkan ukuran perangkat yang compact. FPD yang diusulkan terdiri dari 2 buah Band Pass Filter (BPF) yang dirancang berdasarkan teknik Substrate Integrated Waveguide (SIW) untuk beroperasi pada frekuensi Wireless Local Area Network (WLAN) 5,8 GHz. Optimasi dilakukan dengan menggunakan sebuah perangkat lunak simulasi untuk menyelidiki pengaruh parameter filter yang berbeda terhadap proses pemfilteran serta tanggapan keluaran FPD. Substrat dielektrik Duroid 5880 dengan ketebalan 1,575 mm digunakan untuk merealisasi FPD dengan total dimensi 95 mm x 70 mm. FPD yang direalisasi memiliki tanggapan bandwidth sebesar 75 MHz pada rentang frekuensi 5,9 GHz hingga 5,975 GHz dan isolasi antar port keluaran sebesar 20 dB.

Kata kunci: *Band Pass Filter (BPF); filtering power divider; Substrate Integrated Waveguide (SIW); Wireless Local Area Network (WLAN).*

ABSTRACT

In this paper power divider integrated with filtering process, named as Filtering Power Divider (FPD), is developed to achieve a compact size of the device. The proposed FPD is composed of 2 pieces of Band Pass Filter (BPF) designed based on Substrate Integrated Waveguide (SIW) to operate at the Wireless Local Area Network (WLAN) frequency of 5.8 GHz. The optimizations are carried out using a simulation software to investigate the effect of different filter parameters to the filtering process as well as to the output response of FPD. A Duroid 5880 dielectric substrate with the thickness of 1.575 mm is used to realized the FPD with the total dimensions of 95 mm x 70 mm. The realized FPD has a bandwidth response of 75 MHz in the frequency range of 5.9 GHz to 5.975 GHz and isolation between output ports is 20 dB.

Keywords : *Band Pass Filter (BPF); filtering power divider; Substrate Integrated Waveguide (SIW); Wireless Local Area Network (WLAN).*

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan *Wireless Local Area Network* (WLAN) akhir-akhir ini telah menjadi *trend* baru dalam perkembangan jaringan untuk menggantikan jaringan kabel (**Perahia & Stacey, 2013**). Hal ini telah mengubah metode komunikasi antara pengguna, mesin, dan jaringan dengan memanfaatkan gelombang radio sebagai media transmisi. Secara umum agar dapat saling berkomunikasi, perangkat nirkabel yang digunakan harus memiliki alokasi frekuensi yang sama. Latensi WLAN yang rendah ditujukan untuk layanan antar-aktivitas *real time* yang menggunakan *cloud* seperti otomatisasi industri, dan layanan aplikasi rumah pintar yang lebih toleran terhadap penundaan. Sementara konsumsi daya yang rendah memungkinkan banyak objek yang bisa dihubungkan dan dioperasikan dalam waktu yang lama tanpa memerlukan bantuan manusia, seperti *augmented reality* dan *virtual reality* atau aplikasi multi-media berkualitas tinggi lainnya (**Ejaz & Anpalagan, 2018**).

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi dan telekomunikasi, permintaan akan sistem *front-end* untuk perangkat *Radio Frequency* (RF) telah mengarah ke perangkat yang *compact*, ringan, dan biaya rendah. Komponen pada bagian *front-end* seperti *Band Pass Filter* (BPF) dan *Power Divider* (PD) pada umumnya dirancang secara terpisah dengan menggunakan koneksi terminal 50 Ω . Untuk memenuhi persyaratan ini, salah satu pendekatan yang efektif adalah dengan merancang integrasi antara BPF dan PD menjadi satu perangkat gelombang mikro, yang disebut *Filtering Power Divider* (FPD), dengan kinerja pembagian daya yang ditambahkan fungsi selektivitas frekuensi untuk mengurangi rugi-rugi penyisipan (**Kiris, dkk, 2017**). Sampai saat ini perangkat FPD terus dikembangkan dan menarik untuk diteliti. FPD berbentuk *compact* dengan *resonator spiral* telah dirancang untuk beroperasi pada frekuensi rendah (**Song, dkk, 2014**). Perancangan FPD tidak selalu menghasilkan frekuensi *single band*, tetapi juga bisa frekuensi *dual band* menggunakan topologi kopling dengan dua *resonator open-stub* yang ditambahkan pada *coupled line* (**Wang, dkk, 2017**).

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan teknik *Substrate Integrate Waveguide* (SIW) pada komponen RF pasif seperti filter, pembagi daya, dan antena telah menjadi topik utama penelitian karena memiliki karakteristik seperti *low profile*, rendah biaya, rugi-rugi rendah, performansi radiasi yang tinggi, dan dapat diintegrasikan dengan rangkaian *planar* lain (**Xu & Wu, 2005**). Pada dasarnya, struktur dasar SIW terdiri dari lapisan logam pada bagian atas dan bawah, serta di tengah-tengahnya terdapat substrat berbahan dielektrik dengan ketebalan dan permitivitas relatif tertentu (**Cheng, 2015**). Beberapa silinder logam atau *via-through-hole* tertanam pada substrat dielektrik yang menghubungkan lapisan logam bagian atas dan bawah. *Via-through-hole* pada SIW berperan sebagai dinding bumbung gelombang persegi, sehingga SIW memiliki karakteristik yang mirip dengan bumbung gelombang konvensional (**Bozzi, dkk, 2011**). Selain itu, kelebihan lain pada bumbung gelombang persegi dimiliki pula oleh SIW seperti *bandwidth* yang sempit dan faktor kualitas (*Q*) yang tinggi (**Baghernia & Neshati, 2014**). Semakin tinggi faktor kualitas suatu perangkat maka *bandwidth* yang dihasilkan semakin sempit dan berlaku juga sebaliknya.

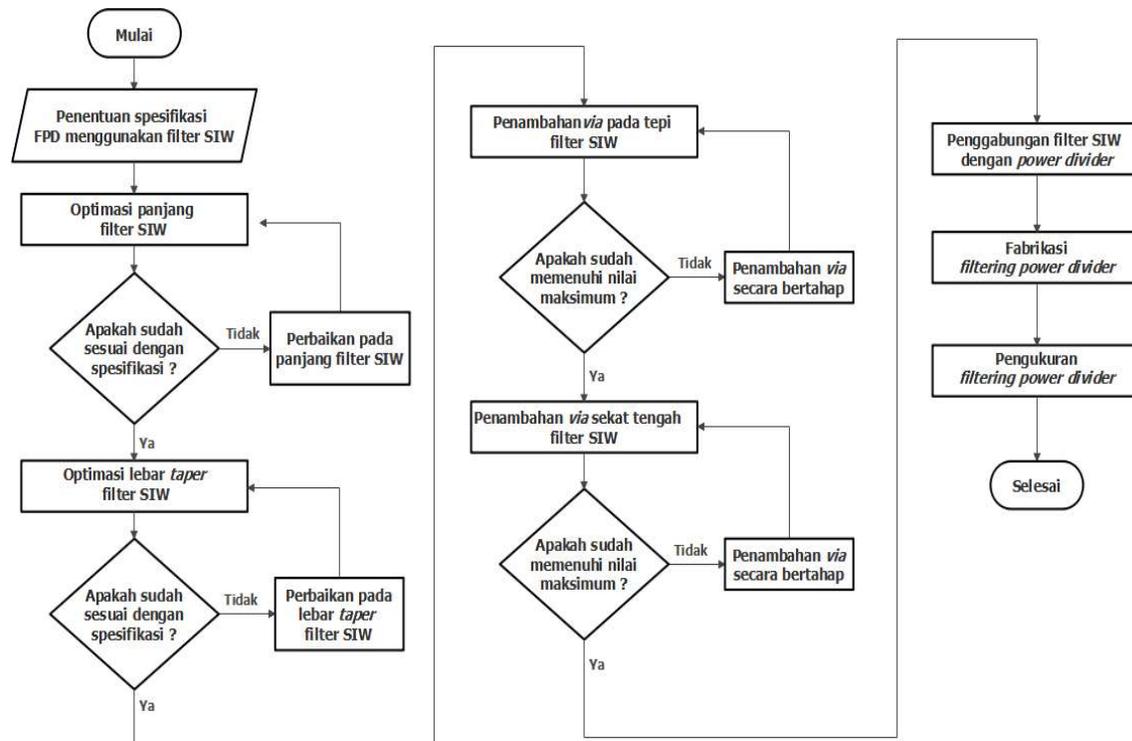
Pembagi daya yang dikombinasikan dengan *Complementary Split Ring Resonator* (CSRR) dan penambahan SIW telah menghasilkan sebuah tanggapan frekuensi yang landai (**Hamidi, dkk, 2018**). Untuk menghasilkan FPD dengan tanggapan frekuensi yang diinginkan, maka digunakan dua buah resonator yaitu CSRR yang digabungkan dengan *interdigital capacitor* dengan menambahkan SIW (**Choudhary & Choudhary, 2017**). FPD berbasis SIW berbentuk segitiga dengan frekuensi *dual-band* menjadi alternatif untuk merancang FPD yang *compact* (**Wang, dkk, 2018**), akan tetapi pembentukan tanggapan frekuensi lebih sulit karena tidak menyertakan resonator. Pada filter SIW, kompleksitas dalam penentuan

tanggapan frekuensi dapat dilakukan dengan beberapa *plated through hole* yang disusun menjadi sebuah kopling berongga (**Cheng & Wu, 2014**). Perancangan FPD untuk aplikasi frekuensi tinggi dapat menggunakan satu buah ruang SIW. Filter yang dirancang dapat menggunakan resonator satu ruang SIW dengan menganalisis variasi letak pencatutan terhadap tanggapan filter (**Bayaskar & Shambavi, 2017**). FPD juga dapat menggunakan resonator *interdigital* karena kopling antar resonator filter *interdigital* juga lebih rapat daripada filter *comblin*, sehingga memudahkan dalam konstruksi untuk penggunaan pada frekuensi tinggi. Jarak antar resonator pada filter *interdigital* juga dapat diatur, di mana hal ini berkaitan dengan tanggapan filter tersebut (**Santiko & Munir, 2019**).

Pada makalah ini, FPD yang diusulkan dirancang menggunakan dua buah filter SIW. Pada perancangan filter SIW, ditambahkan sebuah sekat bercelah sehingga terdapat dua ruang resonansi yang akan dianalisis efek perubahan dari lebar celah pada sekat tengah terhadap *bandwidth* filter SIW tersebut. FPD direncanakan bekerja pada frekuensi 5,8 GHz untuk aplikasi WLAN 802.11n dengan *fractional bandwidth* sekitar 1,5%. Substrat dielektrik berbahan Duroid 5880 dengan ketebalan 1,575 mm digunakan pada makalah ini, adapun pencatutan menggunakan konektor SMA yang memiliki impedansi 50 Ω .

2. METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan FPD menggunakan filter SIW dilakukan melalui studi parameter untuk mendapatkan kinerja pembagi daya yang paling optimal. Keluaran dari perancangan FPD berupa purwarupa yang direalisasi dari hasil simulasi dengan melakukan optimasi beberapa parameter dengan alur perancangan ditunjukkan seperti pada Gambar 1.

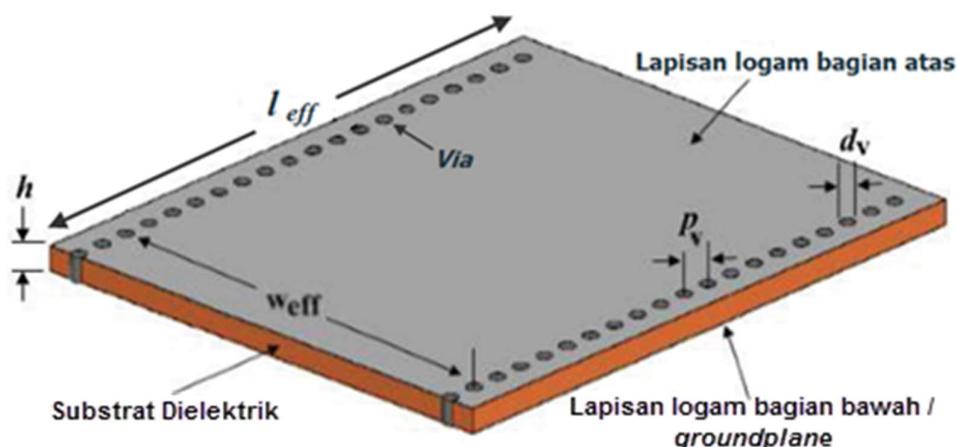


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian untuk Perancangan FPD

Perancangan FPD terdiri dari dua tahapan yaitu perancangan filter SIW dan perancangan keseluruhan yang menggabungkan pembagi daya dengan filter SIW. BPF berbasis SIW yang dirancang disimulasikan menggunakan perangkat lunak simulasi agar dapat bekerja pada rentang frekuensi 5,725 MHz sampai 5,825 MHz untuk WLAN 802.11n. Pada perancangan filter SIW, digunakan satu buah ruang dan dua buah ruang resonansi dengan menambahkan sekat bercelah. Secara garis besar tahapan perancangan filter SIW terbagi atas empat bagian yaitu optimasi panjang filter SIW, optimasi lebar *taper* filter SIW, penambahan *via* pada tepi filter SIW dan penambahan *via* pada sekat tengah filter SIW.

2.1 Substrate Integrated Waveguide

SIW atau disebut juga *post-wall* bumbung gelombang atau *laminated* bumbung gelombang merupakan pilihan yang menjanjikan untuk aplikasi pada frekuensi tinggi seperti *millimeter-wave* dan *terahertz*. SIW pertama kali diperkenalkan oleh K. Wu pada tahun 2009. Teknik SIW yang merupakan alternatif dari bumbung gelombang konvensional memiliki kelebihan antara lain *low profile*, rendah biaya dan rugi-ruginya, serta dapat diintegrasikan dengan rangkaian *planar* lain (Wu, 2009).



Gambar 2. Struktur Dasar SIW

Struktur dasar SIW seperti yang terlihat pada Gambar 2 terdiri dari substrat berbahan dielektrik dengan ketebalan h dan permitivitas relatif (ϵ_r) tertentu. Lapisan atas dan bawah substrat dielektrik terbuat dari logam. Selain itu pada SIW terdapat silinder yang terbuat dari logam yang biasa disebut *via-through-hole* atau *via* yang menghubungkan lapisan atas dan lapisan bawah logam. Jarak antar pusat *via* yang berdiameter d_v dinyatakan dengan *pitch* (p_v). Kedua parameter tersebut harus dipilih secara cermat untuk mencegah rugi-rugi radiasi atau kebocoran energi. Ukuran *pitch* dan diameter *via* harus memenuhi Persamaan (1)-(2) (Xu & Wu, 2005).

$$\frac{d_v}{\lambda_g} \leq 0,1 \quad (1)$$

$$p_v \leq 2d_v \quad (2)$$

Di mana λ_g adalah panjang gelombang pada substrat dielektrik yang dinyatakan pada Persamaan (3).

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (3)$$

Pada SIW, mode propagasi *Transverse Electric* (TE) lebih dominan, sedangkan mode *Transverse Magnetic* (TM) tidak berlaku karena adanya celah antara *via* yang menghambat aliran arus permukaan di sisi samping dari logam bagian atas ke logam bagian bawah atau *groundplane*. Pada mode TE₁₀, dimensi bumbung gelombang persegi dihitung berdasarkan frekuensi *cut-off* yang diinginkan sesuai dengan Persamaan (4) (**Pozar, 2011**).

$$fc_{10} = \frac{c}{2a\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (4)$$

Di mana a merupakan lebar bumbung gelombang persegi, μ_r adalah permeabilitas substrat, dan c adalah kecepatan cahaya di ruang hampa. Seperti halnya bumbung gelombang persegi, mode dominan pada SIW adalah mode TE₁₀. SIW yang bekerja pada mode dominan TE₁₀ juga memiliki frekuensi *cut-off* seperti pada bumbung gelombang persegi. Dengan menganggap a pada bumbung gelombang persegi adalah w yang merupakan lebar SIW, maka pada SIW w dapat dinyatakan dengan Persamaan (5),

$$w = \frac{c}{2fc_{10}\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (5)$$

sedangkan panjang SIW adalah seperempat panjang gelombang (λ_g) seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (6).

$$l = \frac{\lambda_g}{4} \quad (6)$$

Adapun jarak pusat ke pusat antara dua baris *via* atau disebut dengan lebar efektif (w_{eff}) SIW dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (7), dan panjang efektif (l_{eff}) SIW ditunjukkan pada Persamaan (8) (**Xu & Wu, 2005**).

$$w_{eff} = w - \frac{d_v^2}{0,95 p_v} \quad (7)$$

$$l_{eff} = l - \frac{d_v^2}{0,95 p_v} \quad (8)$$

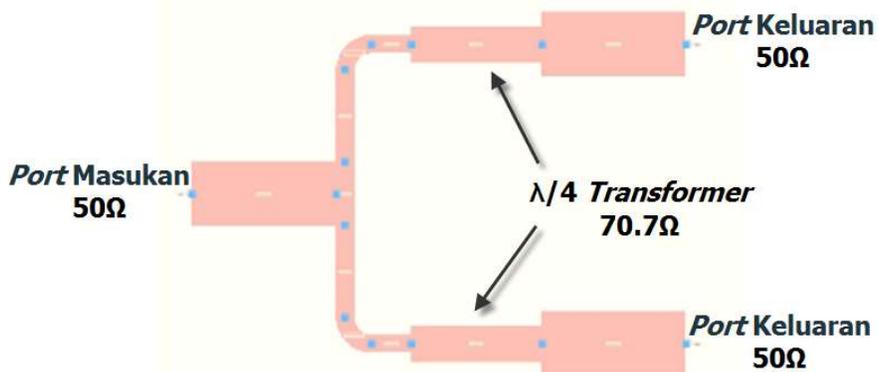
Ketika jarak antar *via* sebaris p_v lebih kecil dari nilai d_v yang telah ditentukan maka celah antar *via* akan menjadi rapat sehingga mengurangi kebocoran radiasi (**Chaieb, dkk, 2017**). Material yang digunakan pada perancangan adalah konduktor tembaga untuk lapisan logam bagian atas filter SIW dan juga untuk lapisan logam pada bagian bawah atau *groundplane* dengan ketebalan masing-masing lapisan logam sebesar 0,035 mm. Sedangkan bagian substrat menggunakan material dielektrik Duroid 5880 dengan permitivitas relatif (ϵ_r) sebesar 2,2, permeabilitas relatif (μ_r) sebesar 1, rugi-rugi dielektrik ($\tan \delta$) sebesar 0,0009, dan ketebalan (h) sebesar 1,575 mm.

Berdasarkan Persamaan (1)-(2), diameter *via* (d_v) dan jarak pusat antar *via* atau *pitch* (p_v) untuk frekuensi *cut-off* sebesar 5,8 GHz dapat diperhitungkan secara matematis. Pada awal perancangan, digunakan diameter *via* sebesar 3,4 mm. Namun karena terlihat masih cukup

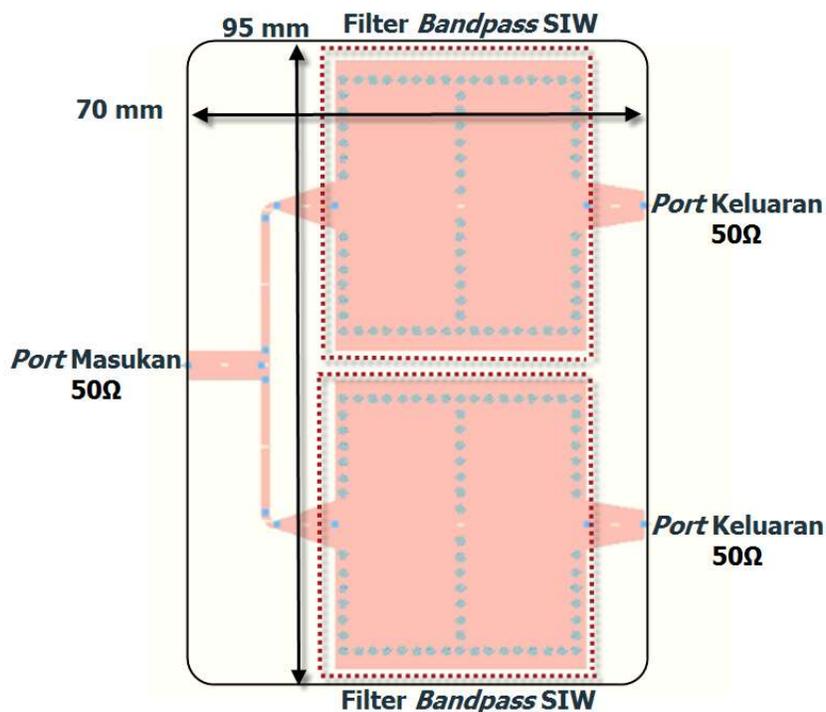
besar, diameter tersebut dibagi 2 sehingga diperoleh nilai d_v sebesar 1,7 mm. Dengan tetap memperhatikan kemampuan proses pabrikasi, digunakan diameter *via* sebesar 1,5 mm. Dari nilai tersebut maka didapatkan nilai p_v kurang dari 3 mm.

2.2 Tahapan Perancangan

Layout pembagi daya konvensional yang dirancang menggunakan topologi distribusi pembagian daya ditunjukkan pada Gambar 3. Pada perancangan pembagi daya konvensional ini digunakan *port* masukan $50\ \Omega$ yang kemudian dibagi menjadi dua percabangan. Adapun pada keluaran, digunakan dua buah *port* keluaran $50\ \Omega$. Dengan menggunakan topologi distribusi pembagian daya, pada bagian percabangan PD akan memiliki impedansi sebesar $100\ \Omega$. Karena *port* keluaran PD memiliki impedansi $50\ \Omega$, untuk mendapat impedansi yang sesuai perlu ditambahkan jalur mikrostrip sebagai *transformer* dengan impedansi $70,7\ \Omega$.



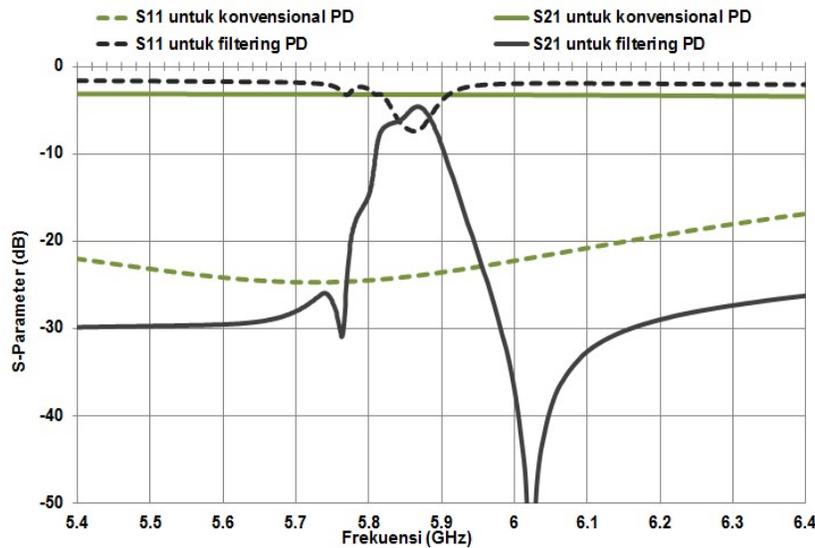
Gambar 3. *Layout* PD Konvensional dengan Topologi Distribusi Pembagian Daya



Gambar 4. *Layout* FPD menggunakan Filter SIW

Dengan menggunakan topologi yang sama, PD konvensional kemudian dimodifikasi dengan menambahkan filter yang dirancang berdasarkan teknik SIW untuk mendapatkan fungsi selektivitas frekuensi dan juga mengurangi rugi-rugi penyisipan, yang dikenal dengan *Filtering Power Divider* (FPD). *Layout* FPD yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 4 menggunakan dua filter SIW dan dirancang pada substrat dielektrik Duroid 5880 dengan panjang 95 mm, lebar 70 mm, dan tebal 1,575 mm.

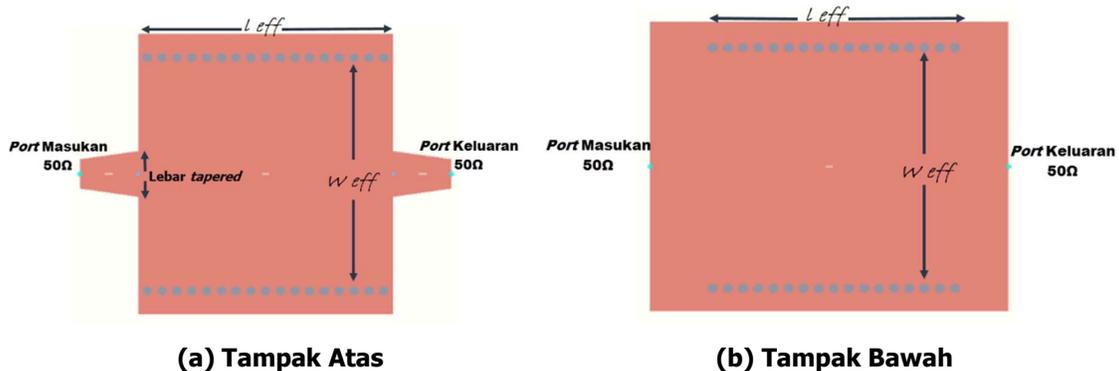
Untuk melihat efek *filtering* dan juga pengurangan rugi-rugi sisipan, perbandingan hasil simulasi antara PD konvensional dan FPD dengan dua buah filter SIW ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa konvensional PD tidak memiliki fungsi *filtering* pada frekuensi 5,8 GHz dengan nilai *insertion loss* (S_{21}) sebesar -3,6 dB, yang mendekati nilai ideal untuk masing-masing percabangan PD yang sebesar -3dB. Sedangkan pada FPD terlihat tanggapan filter pada rentang 5,8 GHz sampai 5,9 GHz.



Gambar 5. Hasil Simulasi Perbandingan Konvensional PD dan *Filtering* PD

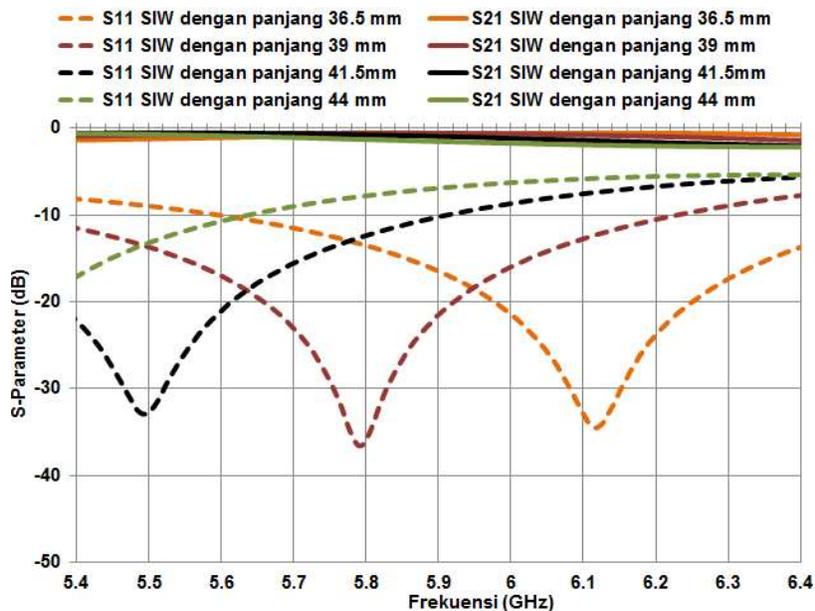
2.3 Perancangan Filter SIW

Gambar 6 adalah *layout* untuk filter SIW yang digunakan dalam proses perancangan. Berdasarkan Persamaan (7) dan (8), ukuran awal dari panjang efektif (l_{eff}) dan lebar efektif (w_{eff}) filter SIW dapat dihitung masing-masing sebesar 37 mm dan 19 mm. Adapun lebar *tapered* diubah-ubah untuk mendapatkan frekuensi kerja yang sesuai, yaitu 5,8 GHz, dengan nilai *return loss* (S_{11}) yang sekecil mungkin.

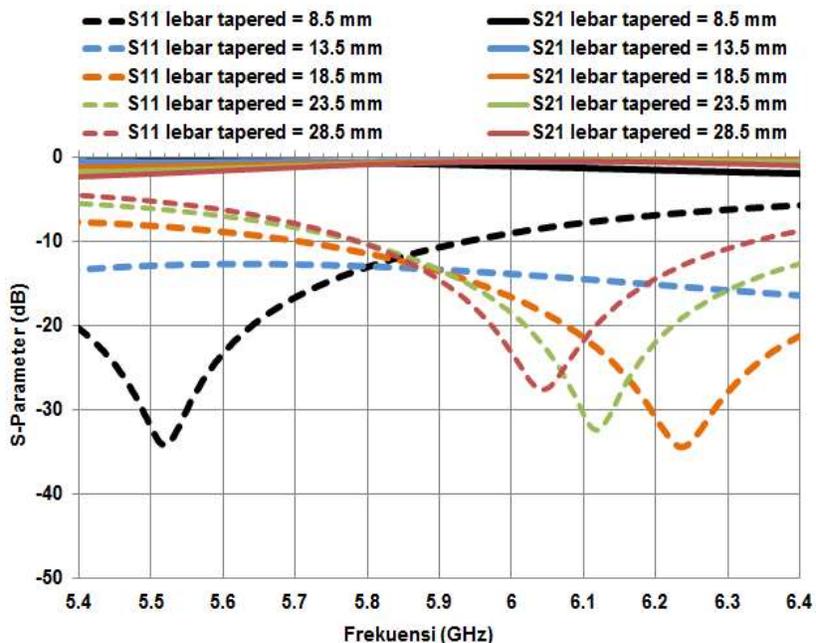


Gambar 6. Perancangan Filter SIW dengan Masukan 50 Ω dan Keluaran 50 Ω

Hasil simulasi untuk perubahan panjang filter SIW dari 36,6 mm sampai 44 mm ditunjukkan pada Gambar 7. Dengan melihat frekuensi kerja dan nilai S_{11} yang diperoleh, diperlukan panjang filter SIW sebesar 39 mm. Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi untuk perubahan lebar *tapered* filter SIW dari 8,5 mm sampai 28,5 mm. Terlihat dari simulasi perubahan lebar *tapered* tersebut, hasil yang mendekati frekuensi 5,8 GHz yaitu lebar *tapered* filter SIW sebesar 8,5 mm. Setelah mendapat nilai-nilai tersebut, kemudian dilakukan studi parameter lebih lanjut pada masing-masing saluran mikrostrip untuk mendapatkan desain dengan hasil yang optimal.



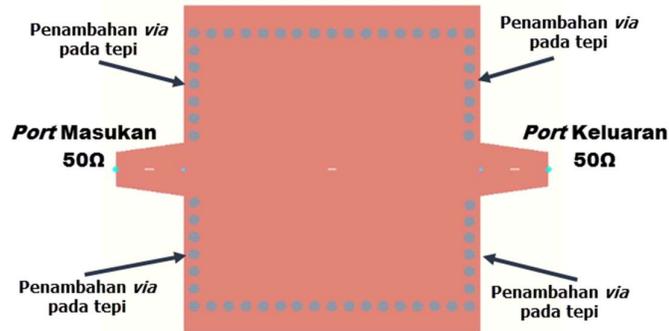
Gambar 7. Hasil Simulasi untuk Perubahan Panjang Filter SIW



Gambar 8. Hasil Simulasi untuk Perubahan Lebar *Tapered*

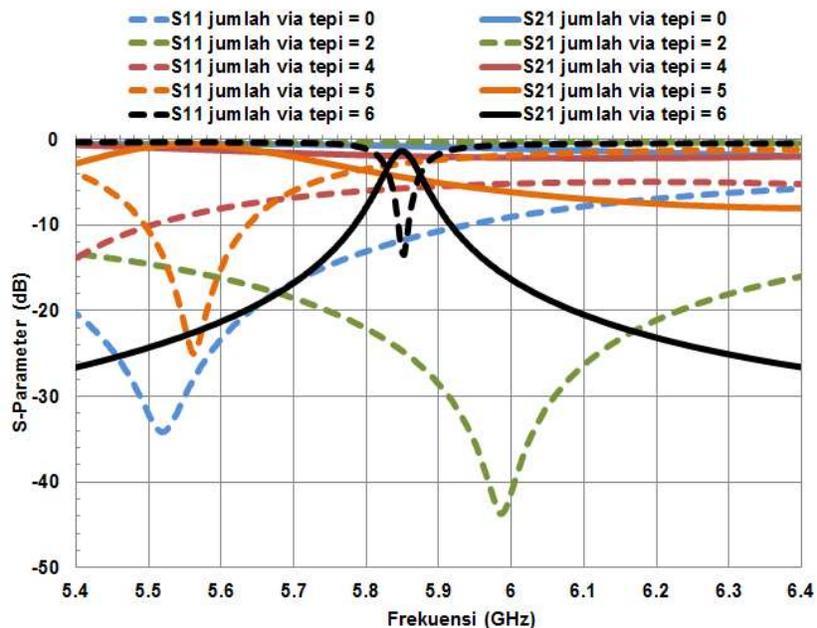
2.4 Pengaruh Penambahan *Via* pada Tepi Filter SIW

Gambar 9 memperlihatkan *layout* filter SIW untuk mengamati efek pengaruh dari penambahan *via* pada tepi. Penambahan *via* ini dilakukan secara bertahap dari 2, 4, 5 dan 6 buah. Jumlah maksimum *via* yang bisa ditambahkan adalah 6 buah untuk masing-masing sisi pada tepi, karena jumlah *via* yang lebih banyak akan menutupi bagian *tapered*.



Gambar 9. Filter SIW dengan Penambahan *Via* pada Tepi

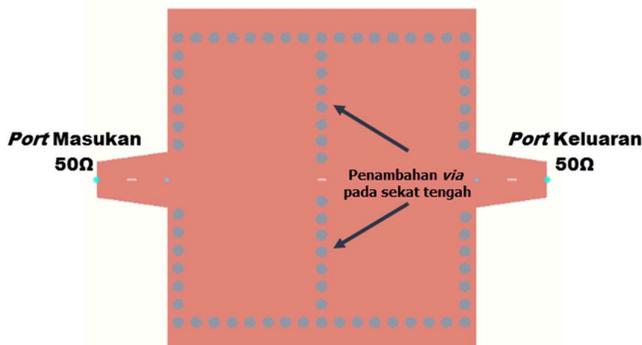
Gambar 10 menunjukkan hasil simulasi untuk penambahan *via* pada tepi filter SIW. Terlihat bahwa penambahan *via* pada tepi dengan jumlah yang lebih banyak akan menghasilkan tanggapan filter dengan *bandwidth* yang lebih sempit. Jumlah *via* pada tepi yang sedikit mengakibatkan *bandwidth* filter SIW menjadi lebar di mana hal ini akan sama seperti karakteristik bumbung gelombang pada umumnya.



Gambar 10. Hasil Simulasi untuk Perubahan Penambahan *Via* pada Tepi

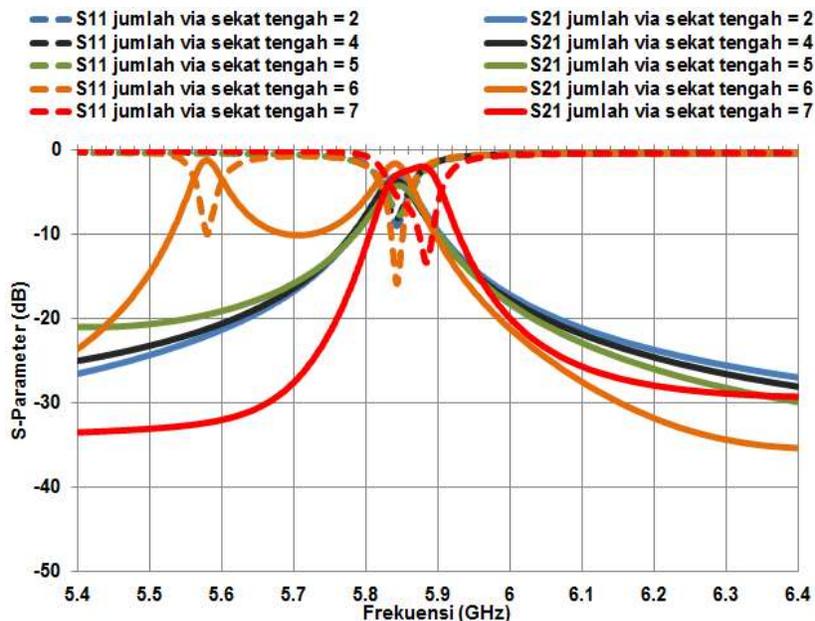
2.5 Pengaruh Penambahan *Via* pada Sekat Tengah Filter SIW

Gambar 11 adalah *layout* filter SIW dengan penambahan *via* pada sekat tengah. Efek penambahan *via* pada sekat tengah diamati dan dilakukan secara bertahap untuk sejumlah *via* dari 2, 4, 5, 6, dan 7 buah. Jumlah maksimum *via* yang bisa ditambahkan adalah 7 buah yang merupakan jarak tersempit celah pada sekat. Untuk jumlah *via* yang lebih banyak akan menyebabkan celah menjadi tertutup yang mengakibatkan tanggapan filter SIW menjadi sangat buruk.

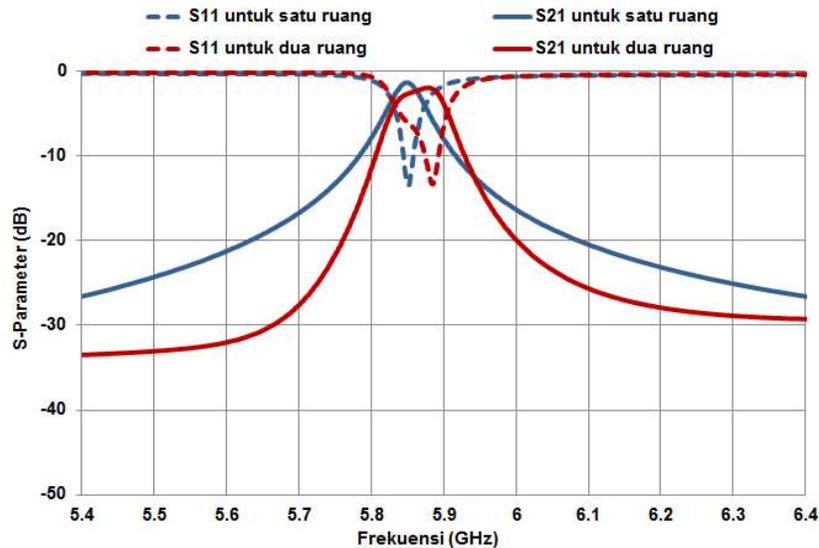


Gambar 11. Filter SIW dengan Penambahan *Via* pada Sekat Tengah

Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi untuk penambahan *via* pada sekat tengah filter SIW. Dari hasil simulasi tersebut, terlihat semakin bertambah jumlah *via* pada sekat tengah, tanggapan frekuensi dari filter SIW memiliki *selectivity* yang bagus dengan nilai S_{11} hingga -27 dB pada frekuensi kerja 5,7 GHz untuk 7 buah *via* yang ditambahkan pada sekat tengah.



Gambar 12. Hasil Simulasi untuk Penambahan *Via* pada Sekat Tengah

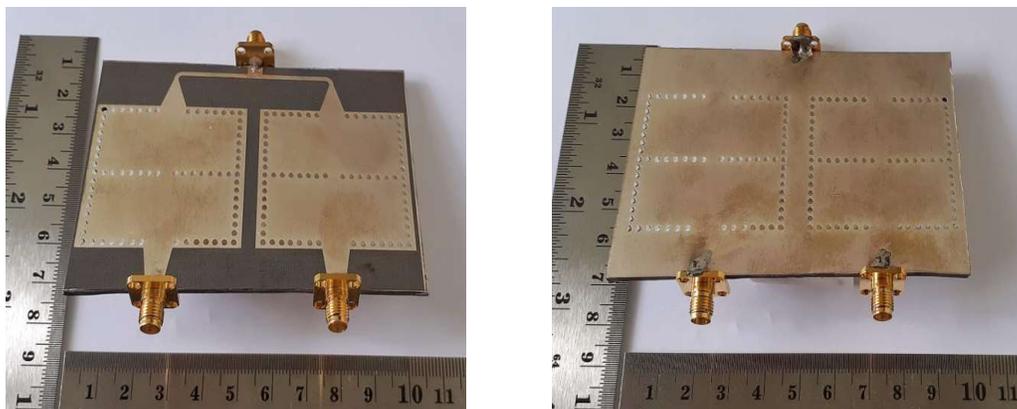


Gambar 13. Hasil Simulasi untuk Perbedaan Jumlah Ruang Resonansi

Untuk mengamati pengaruh jumlah ruang resonansi terhadap tanggapan frekuensi pada filter SIW, yang ditunjukkan pada Gambar 9 untuk filter SIW dengan satu ruang resonansi dan Gambar 11 untuk filter SIW dengan dua ruang resonansi, simulasi dilakukan untuk kedua *layout* tersebut. Gambar 13 menunjukkan perbandingan hasil simulasi untuk perbedaan jumlah ruang resonansi dimana dari simulasi tersebut terlihat bahwa filter dengan dua ruang resonansi memiliki tanggapan frekuensi dengan *selectivity* yang lebih baik dibandingkan filter SIW dengan hanya satu ruang. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak ruang resonansi akan meningkatkan tingkat *selectivity* filter SIW.

3. FABRIKASI DAN PENGUKURAN

Dari hasil perancangan FPD menggunakan filter SIW untuk mendapatkan desain yang optimal, kemudian dilakukan realisasi. FPD yang dirancang dipabrikasi pada substrat dielektrik Duroid 5880 dengan tebal 1,575 mm dan dimensi total sebesar 95 mm x 70 mm. Hasil realisasi dari FPD yang dipabrikasi ditunjukkan pada Gambar 14.

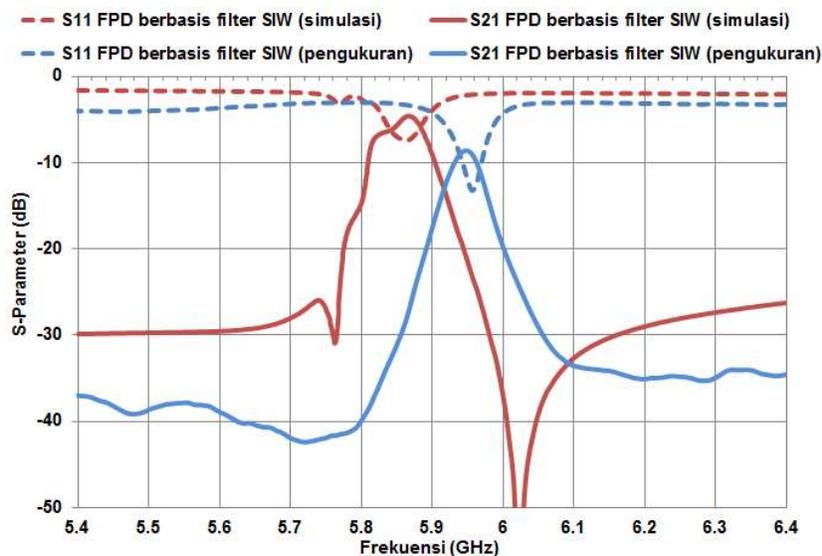


(a) Tampak Atas

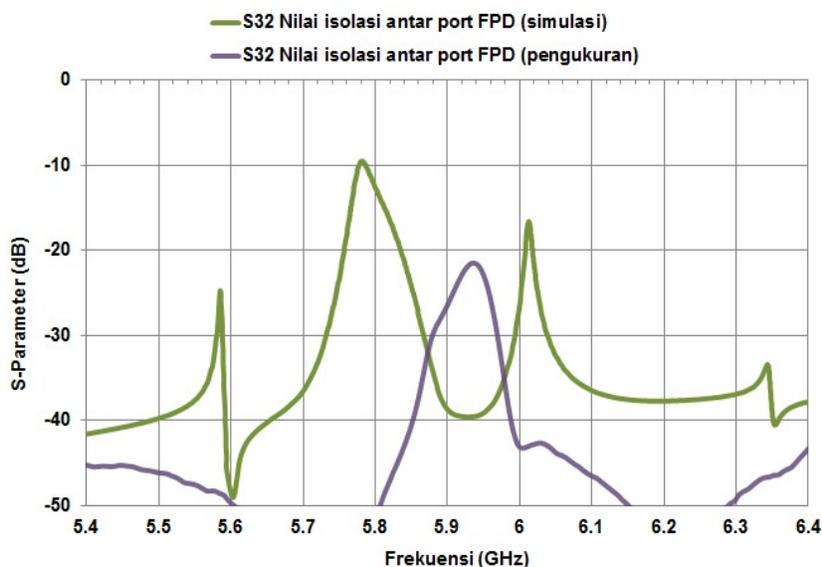
(b) Tampak Bawah

Gambar 14. Hasil Realisasi FPD menggunakan Filter SIW

Masing-masing *port* baik pada masukan maupun keluaran dipasang sebuah konektor SMA 50 Ω untuk proses karakterisasi dengan pengukuran. Perbandingan hasil pengukuran FPD yang direalisasi dengan hasil simulasi ditunjukkan oleh Gambar 15 untuk *return loss* (S_{11}) dan *insertion loss* (S_{21}), dan Gambar 16 untuk isolasi antar *port* keluaran.



Gambar 15. Hasil Pengukuran *Return Loss* dan *Insertion Loss* untuk FPD yang Direalisasi serta Perbandingannya dengan Hasil Simulasi



Gambar 16. Hasil Pengukuran Isolasi antar *Port* Keluaran untuk FPD yang Direalisasi serta Perbandingannya dengan Hasil Simulasi

Gambar 15 menunjukkan hasil pengukuran *return loss* (S_{11}) dan *insertion loss* (S_{21}) FPD yang direalisasi di mana terdapat perbedaan kinerja dibandingkan hasil simulasi berupa penurunan nilai S_{21} pada pembagi daya sebesar -7dB dan pergeseran tanggapan frekuensi pada keluarannya. FPD yang direalisasi mempunyai tanggapan *bandwidth* sebesar 75 MHz pada rentang frekuensi 5,9 GHz hingga 5,975 GHz atau memiliki *fractional bandwidth* sekitar 1,3%. Dari hasil pengukuran tersebut, nilai S_{11} yang dihasilkan oleh FPD pada frekuensi 5,94 GHz

sebesar -14 dB. Penurunan nilai S_{21} kemungkinan disebabkan oleh nilai rugi-rugi dielektrik dari substrat yang digunakan, adapun pergeseran tanggapan frekuensi diakibatkan oleh perbedaan nilai permitivitas relatif dari substrat dielektrik. Selain itu, optimalisasi pada *port* masukan FPD masih perlu dikaji lagi agar tanggapan frekuensi yang dihasilkan bergeser pada frekuensi kerja yang diharapkan, yaitu 5,8 GHz untuk aplikasi WLAN 802.11n. Gambar 16 menunjukkan isolasi antar *port* keluaran (S_{23}) dari FPD dimana hasil pengukuran pada frekuensi 5,94 GHz didapatkan nilai S_{23} sebesar -20 dB. Nilai isolasi antar *port* keluaran pada pengukuran yang bernilai 20 dB menunjukkan bahwa di antara kedua *port* keluaran memiliki nilai *cross-talk* hanya sekitar 1% yang memungkinkan tingkat pemisahan dua sinyal keluaran yang cukup tinggi. Meskipun terjadi pergeseran pada frekuensi kerja, namun terlihat bahwa hasil pengukuran isolasi antar *port* keluaran dari FPD yang direalisasi menunjukkan kinerja yang lebih baik dibanding hasil simulasi.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah disampaikan perancangan, simulasi, dan realisasi FPD berdasarkan topologi pembagian daya menggunakan filter SIW untuk aplikasi WLAN 5,8 GHz. Perancangan dan simulasi FPD yang menggunakan substrat dielektrik Duroid 5880 dengan tebal 1,575 mm meliputi filter SIW dan pembagi daya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa parameter fisik filter SIW seperti jumlah ruang resonansi, pengaruh jarak pada sekat tengah, panjang filter, dan lebar *tapered* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tanggapan frekuensi filter. FPD yang dikonfigurasi dengan dua buah filter SIW dengan dimensi 95 mm x 70 mm telah dioptimalisasi untuk dapat bekerja pada frekuensi 5,8 GHz untuk aplikasi WLAN 802.11n. Dari hasil pengukuran, terdapat penurunan *insertion loss* (S_{21}) dan pergeseran tanggapan frekuensi dari FPD yang direalisasi yang kemungkinan disebabkan oleh rugi-rugi dielektrik dan permitivitas relatif dari substrat yang digunakan. Perbaikan dan peningkatan kinerja dari FPD masih terus dilakukan, demikian pula dengan penerapan topologi pembagi daya lain dalam proses perancangan untuk memperoleh kinerja FPD yang lebih baik.

DAFTAR RUJUKAN

- Baghernia, E. & Neshati, M.H. (2014). Bandwidth Enhancement of Cavity Backed Slot Antenna Using Perturbation in SIW cavity. *The Second Iranian Conference on Engineering Electromagnetics (ICEEM)*, (pp. 1987-1991).
- Bayaskar S. & Shambavi K. (2017). Substrate Integrated Waveguide Based Bandpass Filter for X and Ku-Band Application. *International Conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*. (pp.499-503).
- Bozzi, M., Georgiadis, A. & Wu, K. (2011). Review of Substrate Integrated Waveguide Circuits and Antenna. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 5(8), 909-920.
- Ejaz, W. & Anpalagan, A. (2018). *Internet of Things for Smart Cities: Technologies, Big Data and Security*. Springer.

- Chaieb, T.B, Nasri, A. & Zairi, H. (2017). Low Loss Substrate Integrated Waveguide Slot Antenna. *International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies*, (pp. 25-29).
- Cheng, X.P. & Wu, K. (2014). Substrate Integrated Waveguide Filter. *IEEE Microwave Magazine*, 15(5), 108-116.
- Cheng, Y.J. (2015). *Substrate Integrated Antennas and Arrays*. English : CRC Press.
- Choudhary, D.K. & Chaudhary, R.K. (2017). A Compact SIW Based Filtering Power Divider With Improved Selectivity using CSRR. *Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS-FALL)*, (pp. 1334-1337).
- Hamidi, E.A.Z, Utami, U.S., Ismail, N. & Munir, A. (2018). Compact SIW Power Divider With Csrrs For Wlan Application. *Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama)*, (pp. 1108-1111).
- Kiris O., Akan V., Gokten M. and Kuzu L. (2017). Implementation of Three-Way Power Divider Based on Substrate Integrated Waveguide. *USNC-URSI Radio Science Meeting*, (pp 111-112).
- Perahia, E. & Stacey R. (2013). *Next Generation Wireless LANs (802.11n and 802.11ac)*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Pozar, D.M. (2011). *Microwave Engineering*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Santiko, A.B & Munir, A. (2019). Filtering Power Divider Using Pseudo Interdigital Structure Based On Substrate Integrated Waveguide. *International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET)*, (pp. 37-40).
- Song, K., Ren, X., Chen, F. & Fan, Y. (2014). Compact In-phase Power Divider Integrated Filtering Response Using Spiral Resonator. *IET Microwave Antennas Propagation*, 8(4), 228-234.
- Wang, X., Wang, J., Zhang, G., Hong, J.S. & Wu, W. (2017). Dual-Wideband Filtering Power Divider with Good Isolation and High Selectivity. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 27(12), 1071-1073.
- Wang, Y., Zhou, C., Zhou, K. & Wu, W. (2018). Compact Dual-Band Filtering Power Divider Based on SIW Triangular Cavities. *Electronics Letters*, 54(18), 1072-1074.
- Wu, K. (2009). Substrate Integrated Circuits (SiCs) – A Paradigm for Future GHz and THz Electronic and Photonic Systems. *IEEE Circuits and Systems Society Newsletter*, 3(2), 1-11.
- Xu, F. & Wu, K. (2005). Guided-Wave and Leakage Characteristics Substrate Integrated Waveguide. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 53(1), 66-73.