

Perancangan *Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter* dengan *T-Shape Line Stub* pada Aplikasi Jaringan *Mid-Band 5G* Telkomsel

Wahju Adi Prijono¹, Dimas Brahmantyo²
1st, 2nd Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
Email: dimasbramski@gmail.com

Abstract— Fifth Generation (5G) cellular technology represents a huge leap in speed for wireless devices as it delivers data rates that are 10 to 100 times faster than 4G networks. Even so, there is an obstacle in 5G communication that needs to be considered, i.e. the presence of RF noise that interferes with the 5G work process. This study discusses the design of a Microstrip Band Pass Filter with the type of Single Fold Hairpin with T-Shape Line Open Stub on the Mid-band 5G Telkomsel network application. The design of Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter with T-Shape Line Open Stub experienced a size reduction of 31,13% compared to Microstrip Band Pass Hairpin Filter without Single Fold Resonator and T-shape Line Open Stub. The Return Loss of -60,559 dB, Insertion Loss of -5.5 dB, and -25 dB Stopband Rejection- Bandwidth of 490 MHz were also obtained. Spurious Passband on Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter with T-Shape Line Stub can be removed completely, in contrast to Microstrip Band Pass Hairpin Filter without Single Fold Resonator and T-shape Line Open Stub which has Spurious Passband at 1,095 – 1,164 GHz and 5.75 - 6 GHz for a total of 316 MHz.

Index Terms—5G, Microstrip, Hairpin Filter, Single Fold Resonator, T-shape Line Open Stub

Abstrak— Teknologi seluler *Fifth Generation (5G)* merupakan lompatan besar dalam kecepatan untuk perangkat nirkabel karena memberikan kecepatan data sebesar 10 hingga 100 kali lebih cepat dari jaringan 4G. Walaupun begitu terdapat suatu kendala dalam komunikasi 5G yang perlu diperhatikan, yaitu adanya *RF noise* yang mengganggu proses kerja 5G. Penelitian ini membahas mengenai perancangan *Microstrip Band Pass Filter* dengan jenis *Single Fold Hairpin* dengan *T-Shape Line Open Stub* pada aplikasi jaringan *Mid-band 5G* Telkomsel. Desain *Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter* dengan *T-Shape Line Open Stub* mengalami reduksi ukuran sebesar 32,43% dibandingkan dengan *Microstrip Band Pass Hairpin Filter* tanpa *Single Fold Resonator* dan *T-shape Line Open Stub*. Didapatkan juga *Return Loss* sebesar -60,559 dB, *Insertion Loss* sebesar -5,5 dB, serta *Bandwidth* ketika *Stopband Rejection* sebesar -25 dB 490 MHz. *Spurious Passband* pada *Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter* dengan *T-Shape Line Stub* dapat dihilangkan sepenuhnya, berbeda dengan *Microstrip Band Pass Hairpin Filter* tanpa *Single Fold Resonator* dan *T-shape Line Open Stub* yang mengalami *Spurious Passband* pada 1,095 – 1,164 GHz serta 5,75 - 6 GHz dengan total 316 MHz.

Kata Kunci—5G, Microstrip, Hairpin Filter, Single Fold Resonator, T-shape Line Open Stub

I. INTRODUCTION

Seiring dengan perkembangan komunikasi seluler di dunia, muncul suatu generasi komunikasi seluler baru yang disebut dengan *Fifth Generation (5G)*. Teknologi seluler generasi kelima, 5G, merupakan lompatan besar selanjutnya dalam kecepatan untuk perangkat nirkabel. Kecepatan ini mencakup tingkat pengguna seluler yang dapat mengunduh data ke perangkat mereka dan latensi atau kelambatan, yang mereka alami antara mengirim dan menerima informasi. Hadirnya 5G bertujuan untuk memberikan kecepatan data sebesar 10 hingga 100 kali lebih cepat dari jaringan 4G yang ada saat ini [1]. Selain itu, komunikasi 5G juga dapat diintegrasikan dengan *Internet of Things (IoT)*, *Artificial Intelligence (AI)*, *Big Data*, dan teknologi-teknologi lain yang memiliki banyak fungsi dalam berbagai jenis sektor di dalam kehidupan manusia.

Pada pelaksanaannya suatu jaringan 5G dibagi menjadi 3 spektrum jaringan, yaitu *Low-Band*, *Mid-Band*, dan *High Band*. Spektrum *Low-Band* 5G menggunakan frekuensi di bawah 1 GHz dan memiliki tingkat *coverage area* yang lebih tinggi hingga dapat menembus halangan sinyal seperti tembok. Biasanya spektrum frekuensi ini digunakan untuk menjangkau wilayah yang luas, bahkan hingga wilayah pedesaan yang jauh dari kota. Namun tingkat kecepatan data pada spektrum frekuensi ini terbatas hingga 300 Mbps. *High Band 5G* menggunakan teknologi *millimeter wave (mmWave)*. Teknologi ini membuat spektrum *High Band* harus memakai rentang frekuensi di atas 6 GHz. Sayangnya, teknologi *mmWave* memiliki *coverage area* yang kecil, sehingga hanya digunakan pada area perkotaan dengan tingkat densitas penduduk yang besar serta kebutuhan akan akses jaringan 5G yang sangat tinggi di satu waktu. Agar *coverage area* yang didapat tetap cukup luas dan kecepatan data yang diperoleh tetap tinggi dibutuhkan suatu spektrum frekuensi pada 5G di antara *Low Band* dan *High Band*, yang disebut dengan *Mid Band*. Spektrum frekuensi *Mid Band 5G* memiliki rentang antara 1 – 6 GHz [2].

Walaupun begitu terdapat suatu kendala dalam pelaksanaan komunikasi 5G yang harus diperhatikan, yaitu adanya *RF noise* baik di dalam maupun luar sistem yang dapat mengganggu proses kerja 5G nantinya. Salah satu cara untuk mengurangi tingkat *noise* di dalam sistem

tersebut adalah menggunakan suatu *RF filter*. Pada kasus ini diperlukan suatu *RF Filter* yang berukuran *compact* dan dapat bekerja dalam *bandwidth* yang lebar maupun sempit. Oleh karena itulah *RF Filter* dengan jenis *Microstrip Filter* digunakan. Selain itu, *Microstrip Filter* memiliki fleksibilitas dalam perancangan bentuk desainnya.

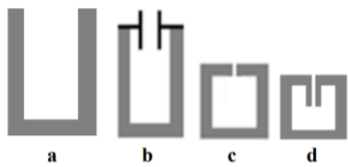
Berbeda dengan *RF filter* lainnya, mode transmisi *Microstrip filter* berjenis *Quasi-TEM Mode*, yang diasumsikan bekerja seperti *TEM Mode* biasa. Istilah *Quasi* mengacu pada gelombang transmisi yang seolah-olah berbentuk seperti *TEM Mode*. Seperti yang kita ketahui dalam mikrostrip bagian atas dan bawah adalah bagian konduktor dan bagian tengah adalah dielektrik. Oleh karena itu pada *Microstrip Filter*, gelombang merambat melalui udara di atas *top-pattern* dan melalui substrat dielektrik. Karena dua medium yang berbeda ini memiliki resistivitas yang berbeda, gelombang merambat dengan kecepatan yang berbeda di kedua zona tersebut. Inilah yang disebut sebagai *Quasi-TEM Mode* [3].

Pada penelitian ini, penulis membuat suatu *Microstrip Band Pass Filter* dengan jenis *Single Fold Hairpin* dengan *T-Shape Line Stub* untuk Aplikasi Jaringan *Mid-Band 5G* Telkomsel di Indonesia menggunakan bahan substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik 4,3; ketebalan 1,6 mm dan *tangent loss* sebesar 0,025.

II. PERANCANGAN DESAIN FILTER

A. Single Fold Hairpin Filter

Hairpin Filter adalah suatu pengembangan *Filter Microstrip* dimana memiliki konsep yang dihasilkan dari penggabungan lipatan-lipatan *resonator parallel edge couple* dan *half-wavelength resonator* yang dibentuk menjadi "U"[4]. *Microstrip Filter* dengan jenis *Single Fold Hairpin* adalah suatu perkembangan bentuk dari *Microstrip Filter* yang mana menggunakan *coupling line* dengan struktur topologi berbentuk *hairpin* dimana pada struktur nya dilipat lagi sebanyak satu kali pada *open-ends* dari *Hairpin Direct Coupling Filter*. Menurut Shivhare dan Reddy (2015), *Hairpin Filter* dengan *Single Fold* dapat mengurangi ukuran dari *Filter* hingga 35-45% dibandingkan dengan *Hairpin Filter* tanpa *folding* pada *center frequency* yang sama [5].



Gambar 1. *Resonator Hairpin* dengan bentuk Konvensional (a), *Capacitor loaded* (b), *Single Fold* (c), dan *Double Fold* (d) [5]

Untuk mengukur panjang dari tiap bagian pada *Single Fold Hairpin Type Microstrip Filter*, kita dapat mengukur *line coupling* nya terlebih dahulu. *Line coupling* ini digunakan untuk menghasilkan *directional coupler*. Pada saat dua buah saluran transmisi saling berdekatan satu sama lain, gaya medan dapat di-*coupling* diantara 2 *line* tersebut karena terjadinya asosiasi medan elektromagnetik dari tiap *line* [6].

Tiap *coupled line* memiliki mode ganjil dan genap, yang mana menghasilkan impedansi ganjil dan genap (*Z_{oo}* untuk impedansi ganjil dan *Z_{oe}* untuk impedansi genap),

$$Z_{oJ01} = \sqrt{\frac{\pi.FBW}{2.g_0.g_1}} \quad (1)$$

$$Z_{oJn,n-1} = \frac{\pi.FBW}{2\sqrt{g_{n-1}.g_n}}, \text{ untuk } n = 1 - N-1 \quad (2)$$

$$Z_{oJn,n+1} = \sqrt{\frac{\pi.FBW}{2.g_n.g_{n+1}}} \quad (3)$$

Dimana *Z_o* adalah impedansi karakteristik dari *line*, *J* inverter admittansi, *FBW* adalah *fractional bandwidth*, *g* adalah nilai elemen pada *prototype filter*, serta *n* bernilai 2,3,4,...,N. kita bisa mendapatkan nilai impedansi karakteristik ganjil dan genap dari tiap *line*.

$$Z_{oo} = Z_o(1 + JZ_o + (JZ_o)^2) \quad (4)$$

$$Z_{oe} = Z_o(1 - JZ_o + (JZ_o)^2) \quad (5)$$

Setelah kita mendapatkan nilai impedansi karakteristik ganjil dan genap, kita dapat mengukur panjang dan lebar dari *line* mikrostrip. Pertama kita mengukur impedansi karakteristik *single line* ganjil dan genap [6].

$$Z_{oso} = \frac{(Z_{oo})_{n,n+1}}{2} \quad (6)$$

$$Z_{ose} = \frac{(Z_{oe})_{n,n+1}}{2} \quad (7)$$

Setelah menemukan nilai *Z_{oso}* dan *Z_{ose}*, kita dapat mengukur rasio antara lebar dan tebal dari *line* mikrostrip ganjil dan genap

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2}, \text{ jika } \frac{W}{h} \leq 2 \quad (8)$$

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right], \text{ jika nilai } \frac{W}{h} > 2 \quad (9)$$

di mana,

$$A = \frac{Z_o}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (10)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_o\sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)$$

Nilai *Z_o* dapat diganti sesuai dengan *Z_{oso}* (Untuk genap) dan *Z_{ose}* (untuk ganjil) [7].

$$\frac{s}{h} = \frac{2}{\pi} \cosh^{-1} \left[\frac{\cosh\left(\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{W}{h}\right)_{se}\right) + \cosh\left(\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{W}{h}\right)_{so}\right) - 2}{\cosh\left(\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{W}{h}\right)_{se}\right) - \cosh\left(\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{W}{h}\right)_{so}\right)} \right] \quad (12)$$

Lalu kita dapat mengukur panjang dari *line* dengan,

$$\ell = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{c}{4.f(\text{GHz}).\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (13)$$

dimana λ_g adalah panjang gelombang *Quasi-TEM mode* dari *Microstrip Filter*, dan ϵ_{eff} adalah konstanta dielektrik efektif [8].

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\left(\frac{1}{W/h}\right)}} \right) \quad (14)$$

Untuk mengukur parameter resonator, kita dapat ukur panjang *line coupling* dengan

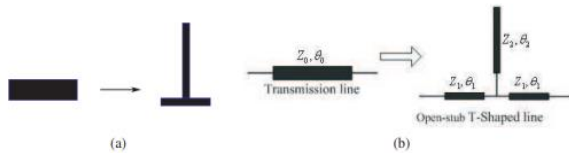
$$\cot \theta_p = \frac{-R + \sqrt{R^2 + 4Z_c^2 \sin^2 \theta_s}}{2Z_c \sin \theta_s} \quad (15)$$

$$R = (Z_{oe} + Z_{oo}) \cos \theta_s - (Z_{oe} - Z_{oo}) \quad (16)$$

Dimana θ_s adalah panjang elektrik resonator dan Z_c impedansi karakteristik [5].

B. T-type Line Open Stub

T-type Line Open Stub adalah suatu jenis transmission line buntu yang sengaja dibuat untuk menyamakan impedansi load yang kompleks dengan impedansi karakteristik transmission line itu sendiri, yang mana bentuk desainnya menyerupai huruf T. Metode penambahan T-type Line Open Stub ini dapat dilakukan agar meminimalisir adanya interferensi passband-passband yang tidak diperlukan (Spurious Passband), yang biasanya terjadi pada frekuensi resonansi harmonik ke-2 atau 3 pada filter, tanpa mengubah karakteristik passband serta mengoptimalkan stopband pada filter [9].



Gambar 2. Perbandingan suatu Transmission Line Seri dengan T-Shape Line Stub dalam hal rancangan (a) dan Model Transmisi Ekvivalen (b) [9]

Pada transmission line seri impedansi karakteristik dan electrical length adalah masing-masing Z_0 dan θ_0 , serta impedansi karakteristik dari line yang terhubung dengan T-shape Line Stub serta electrical length nya masing-masing Z_1 dan Z_2 serta θ_1 dan θ_2 .

Matriks ABCD dari transmission line normal adalah:

$$M_0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & jZ_0 \sin \theta_0 \\ \frac{j \sin \theta_0}{Z_0} & \cos \theta_0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Suatu T-Shape Line Stub terdiri dari 2 sisi line yang terhubung dengan 1 open stub. Jika diskontinuitas pada line T-shape serta efek open end pada open stub dianggap tidak ada, maka matriks ABCD pada tiap bagian

$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & jZ_1 \sin \theta_1 \\ \frac{j \sin \theta_1}{Z_1} & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{j \tan \theta_2}{Z_2} & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

dimana :

$$Z_1 = \cot \theta_1 \left(\frac{1 - \cos \theta_0}{\sin \theta_0} \cdot Z_0 \right) \quad (20)$$

$$Z_2 = \tan \theta_2 \left(\frac{\cos^2 \theta_1}{\cos 2\theta_1 - \cos \theta_0} \right) \left(\frac{1 - \cos \theta_0}{\sin \theta_0} \cdot Z_0 \right) \quad (21)$$

Sehingga didapat matriks ABCD Ekvivalen untuk T-shape Line Open Stub adalah

$$M_T = M_1 M_2 M_1 \quad (22)$$

Serta nilai M_T sama dengan M_0 [9].

III. SPESIFIKASI FILTER

Berikut data spesifikasi Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub untuk Aplikasi Jaringan Mid-Band 5G Telkomsel di Indonesia.

TABLE I
DATA SPESIFIKASI SINGLE FOLD HAIRPIN TYPE NARROW-BAND MICROSTRIP BAND PASS FILTER DENGAN T-SHAPE LINE STUB UNTUK APLIKASI JARINGAN MID-BAND 5G TELKOMSEL DI INDONESIA

Spesifikasi	Nilai yang Diinginkan
Type Filter	Chebyshev
Center Frequency (GHz)	2,35
Passband Frequency (GHz)	2,3 - 2,4
Bandwidth (MHz)	100
Fractional Bandwidth (%)	4
Return Loss (dB)	< -10
Insertion Loss (dB)	> -6
-25 dB SR BW (MHz)	± 500

Dari data tabel 1 bisa digunakan untuk menghitung orde filter

$$N \geq \frac{\cosh^{-1} \left(\frac{10^{\frac{A_s}{10}} - 1}{10^{\frac{L_{Ar}}{10}} - 1} \right)}{\cosh^{-1}(\Omega_s)} \quad (23)$$

Dimana A_s adalah stopband rejection, L_{Ar} adalah passband ripple, serta Ω_s adalah frekuensi stop-band filter Chebyshev dalam Rad/s [10]. Dengan (23) serta data spesifikasi dari tabel 1, didapat nilai $N = 4$.

Untuk mendapatkan nilai dimensi mikrostrip filter, kita perlu menghitung nilai elemen respons Chebyshev untuk $N = 4$ [10].

$$g_0 = 1;$$

$$g_1 = \frac{2}{\gamma} \sin \left(\frac{\pi}{2N} \right);$$

$$g_i = \frac{1}{g_{i-1}} \frac{4 \sin \left(\frac{(2i-1)\pi}{2N} \right) \sin \left(\frac{(2i-3)\pi}{2N} \right)}{\gamma^2 + \sin^2 \left(\frac{(i-1)\pi}{N} \right)}, i = 1, 2, \dots, N$$

$$g_{N+1} = \begin{cases} 1, & \text{jika } N = \text{ganjil} \\ \coth^2 \left(\frac{\eta}{4} \right), & \text{jika } N = \text{genap} \end{cases} \quad (24)$$

dimana N adalah orde filter dan

$$\eta = \ln \left(\coth \left(\frac{L_{AR}}{17,37} \right) \right) \quad (25)$$

$$\gamma = \sinh \left(\frac{\eta}{2N} \right) \quad (26)$$

Menggunakan (24)-(26) didapat nilai elemen respons Chebyshev untuk filter yaitu

TABLE 2
DATA NILAI ELEMEN RESPONS CHEBYSHEV RANCANGAN FILTER

N	g1	g2	g3	g4
1	0.3615	1,0000		
2	0.9303	0.6493	1.4327	

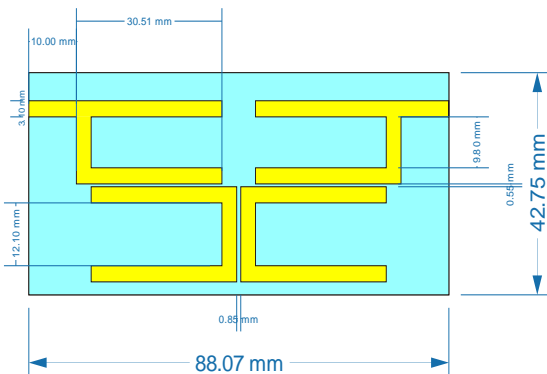
3	1,1193	1,1541	1,1193	1
4	1.1964	1.3000	1.8635	0.8346 1.4334

Menggunakan data N=4 dari Tabel 2, dapat dihitung nilai impedansi mode genap dan ganjil (Z_{oe} dan Z_{oo}) (1)-(5).

TABEL 3
DATA NILAI ELEMEN RESPONS CHEBYSHEV RANCANGAN FILTER

Orde	Z_{oJn} (Ω)	Z_{oe} (Ω)	Z_{oo} (Ω)
1	0.2364	40.9750	64.6122
2	0.0536	47.4638	52.8235
3	0.0429	47.9450	52.2394
4	0.0536	47.4638	52.8235
5	0.2364	40.9750	64.6122

Pada tabel 3 kita mendapatkan nilai impedansi mode genap dan ganjil (Z_{oe} dan Z_{oo}) dari desain filter yang menggambarkan besarnya efek *coupling* yang terjadi di antara dua resonator yang saling berdekatan [11]. Menggunakan rumus (8)-(14) serta *line calculator* (*linecalc*) pada ADS, kita mendapatkan rancangan desain mikrostrip filter tanpa *Single Fold Hairpin* dan *T-type Line Open Stub*. Kemudian dilakukan pengujian simulasi serta optimasi nilai.



Gambar 3. Desain *Microstrip Band Pass Hairpin Filter* Tanpa *Single Fold* dan *T-shape Line Open Stub*

Pada perancangan desain *Microstrip Band Pass Hairpin Filter* Tanpa *Single Fold* dan *T-shape Line Open Stub* didapat ukuran tiap parameter adalah :

TABEL 4
DATA PARAMETER UKURAN TIAP BAGIAN PADA DESAIN *MICROSTRIP BAND PASS HAIRPIN FILTER* TANPA *SINGLE FOLD* DAN *T-SHAPE LINE OPEN STUB*

Parameter	Ukuran (mm)
P	10
P ₁	9,8
P ₂	12,1
P ₁	27,91
P _L	30,51
L	3,1
g ₁	0,55
g ₂	0,85

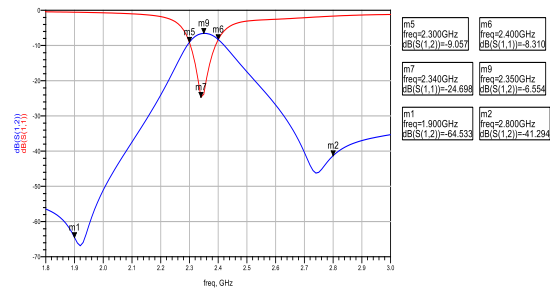
Didapat pula dimensi ukuran Panjang x Lebar dari desain *Microstrip Band Pass Hairpin Filter* Tanpa *Single*

Fold dan *T-shape Line Open Stub* adalah 88,07 mm x 42,75 mm.

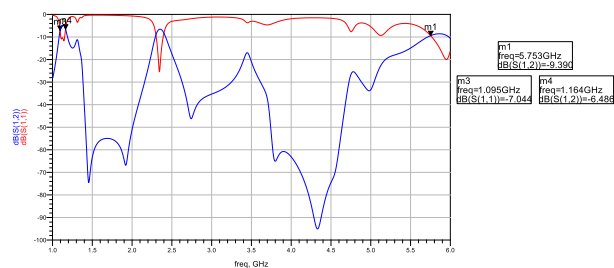
Setelah dilakukan pembuatan desain, kita dapat melakukan simulasi S-Parameter via ADS. Pada saat simulasi desain *Microstrip Band Pass Hairpin Filter* Tanpa *Single Fold* dan *T-shape Line Open Stub* didapat nilai data S-Parameter sebagai berikut :

TABEL 5
DATA HASIL SIMULASI S-PARAMETER DESAIN *MICROSTRIP BAND PASS HAIRPIN FILTER* TANPA *SINGLE FOLD* DAN *T-SHAPE LINE OPEN STUB* VIA ADS

Spesifikasi	Nilai Hasil Simulasi
<i>Center Frequency</i> (GHz)	2,35
<i>Passband Frequency</i> (GHz)	2,3 - 2,4
<i>Bandwidth</i> (MHz)	100
<i>Return Loss</i> (RL) (dB)	-24,698
<i>Insertion Loss</i> (IL) (dB)	-6,554
-25 dB SR BW (MHz)	400



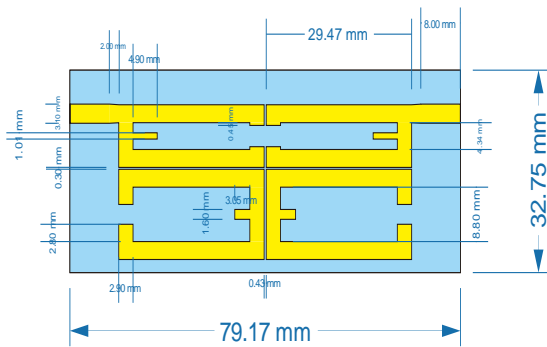
Gambar 4. Data S-Parameter Desain *Microstrip Band Pass Hairpin Filter* Tanpa *Single Fold* dan *T-shape Line Open Stub* dengan *Start-Stop* pada 1,8 - 3 GHz untuk Mengetahui Nilai *Center Frequency*, *Bandwidth*, *RL*, *IL*, dan *SR*



Gambar 5. Data S-Parameter Desain *Microstrip Band Pass Hairpin Filter* Tanpa *Single Fold* dan *T-shape Line Open Stub* dengan *Start-Stop* 1 – 6 GHz untuk Mengetahui Adanya *Spurious Passband*

Seperti yang dapat ditunjukkan pada gambar 5, terdapat suatu *Spurious Passband* yang terjadi pada rentang 1,095 – 1,164 GHz serta 5,75 - 6 GHz dengan total 316 MHz. Selain itu ukuran dari desain filter perlu dibuat lebih *compact*. Oleh karena itu, ditambahkan *Single Fold Resonator* dan *T-shape Line Open Stub* pada desain *Microstrip Filter* yang sudah dibuat sebelumnya.

Menggunakan rumus (15)-(22), serta aplikasi *linecalc* pada ADS, didapat rancangan desain *Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter* dengan *T-Shape Line Stub*,



Gambar 6. Desain Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub

Pada perancangan desain Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub didapatkan nilai parameter ukuran tiap bagian

TABEL 6
DATA PARAMETER UKURAN TIAP BAGIAN PADA DESAIN SINGLE FOLD HAIRPIN TYPE NARROW-BAND MICROSTRIP BAND PASS FILTER DENGAN T-SHAPE LINE STUB

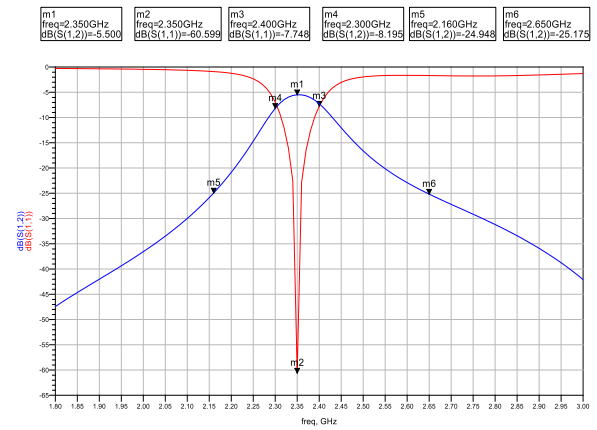
Parameter	Ukuran (mm)
P	8
P ₁	2
P _L	29,47
P ₁	4,34
P ₂	8,80
PS ₁	4,90
PS ₂	3,05
PR ₁	0,45
PR ₂	2,80
L	3,10
L ₁	2,900
LS ₁	1,01
LS ₂	1,60
g ₁	0,30
g ₂	0,43

Didapat ukuran dimensi Panjang x Lebar dari desain Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub adalah 79,17 x 32,75 mm, dimana terjadi reduksi nilai ukuran filter sebesar 31,13% dibandingkan dengan desain Microstrip Band Pass Hairpin Filter Tanpa Single Fold dan T-shape Line Open Stub.

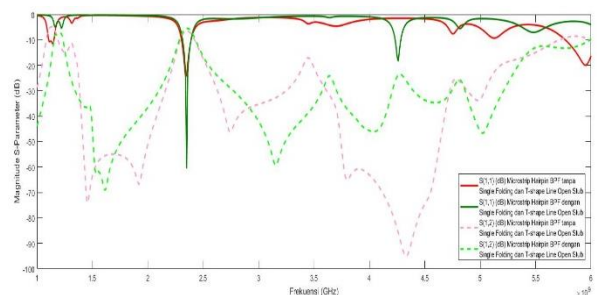
Pada simulasi S-Parameter dari desain Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub, didapatkan hasil simulasi yaitu :

TABEL 7
DATA HASIL SIMULASI S-PARAMETER DESAIN SINGLE FOLD HAIRPIN TYPE NARROW-BAND MICROSTRIP BAND PASS FILTER DENGAN T-SHAPE LINE STUB

Spesifikasi	Nilai Hasil Simulasi
Center Frequency (GHz)	2,35
Passband Frequency (GHz)	2,3 - 2,4
Bandwidth (MHz)	100
Return Loss (RL) (dB)	-60,559
Insertion Loss (IL) (dB)	-5,5
-25 dB SR BW (MHz)	490



Gambar 7. Data S-Parameter Desain Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub dengan Start-Stop pada 1,8 - 3 GHz untuk Mengetahui Nilai Center Frequency, Bandwidth, RL, IL, dan SR



Gambar 8. Perbandingan Hasil S₁₁ (garis) dan S₂₂ (garis putus-putus) Desain Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub dan Microstrip Band Pass Hairpin Filter Tanpa Single Fold dan T-shape Line Open Stub

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 8, pada desain Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub, Spurious Passband yang terjadi pada desain Microstrip Band Pass Hairpin Filter Tanpa Single Fold dan T-shape Line Open Stub dapat dikurangi sepenuhnya. Hal ini terjadi karena penambahan T-shape Line Open Stub yang menyamakan impedansi load yang kompleks dengan impedansi karakteristik transmission line itu sendiri, sehingga meminimalisir adanya interferensi Spurious Passband [9].

IV. KESIMPULAN

Pada rancangan desain Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub mengalami reduksi ukuran filter sebesar 31,13% dibandingkan dengan rancangan desain Microstrip Band Pass Hairpin Filter tanpa Single Fold dan T-shape Line Open Stub.

Pada desain Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub, Spurious Passband dapat dihilangkan sepenuhnya. Hal ini berbeda jika dibandingkan dengan Microstrip Band Pass Hairpin Filter tanpa Single Fold dan T-shape Line Open Stub yang mengalami Spurious Passband pada 1,095 – 1,164 GHz serta 5,75 - 6 GHz dengan total 316 MHz.

Berdasarkan hasil simulasi S-Parameter dari desain

Single Fold Hairpin type Narrow-Band Microstrip Band Pass Filter dengan T-Shape Line Stub, didapatkan hasil sebagai berikut :

TABEL 8

DATA KESIMPULAN HASIL SIMULASI S-PARAMETER DARI DESAIN SINGLE FOLD HAIRPIN TYPE NARROW-BAND MICROSTRIP BAND PASS FILTER DENGAN T-SHAPE LINE OPEN STUB

Parameter	Nilai yang Diinginkan	Nilai yang Didapat	Simpangan Deviasi
Passband Frequency (GHz)	2,3 - 2,4	2,3 – 2,4	0
Bandwidth (MHz)	100	100	0
RL (dB)	< -10	-60,559	5,056
IL (dB)	> -6	-5,5	0,079
-25 dB SR BW (MHz)	± 500	490	0,02

REFERENCES

[1] A. C. Situmorang, D. Gunawan dan V. G. Anggraini. 2019. "5G Trials on 28 GHz Band in Indonesia." The 28th Wireless and Optical Communication Conference (WOCC 2019).

[2] A. Sukarno, A. Hikmaturokhman, dan D. Rachmawaty. 2021. "Comparison of 5G NR Planning in Mid-Band and High-Band in Jababeka Industrial Estate." 2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat)

[3] Johnson, Richard C. dan H. Jasik, 19993. *Antenna engineering handbook – 3rd edition*. New York: McGraw-Hill Book Company

[4] Trasma, Yunita., Nur, Levi Olivia, & Hartawan, Arfan R. 2017. "Bandpass Filter dengan Metode Hairpin Resonator Pada Frekuensi X-Band." Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika vol. 2 no. 2 Juli 2017 pp. 33-38

[5] Shivhare, Jagdish dan B.V.R. Reddy. 2015. "Design and Development of a Single Fold Hairpin Line Microstrip Bandpass Filter at 3250 Mhz for S-Band Communication Systems." International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET), Volume 8 Issue 3, pp. 337-346, June 2015.

[6] Fauzi, Muh. Faiz bin. 2014. *Design of mm-Wave Hairpin Filter* (Thesis). pp. 12-14. School of Electrical and Electronic Engineering. Seri Iskandar : Universiti Teknologi Petronas

[7] Sharma, Girraaj; Sudhir kumar Sharma, Sandeep Bhullar, Nilesh Kumar, dan Saurabh Chauhan. 2014. "Design and Simulation of Compact Hairpin Band Pass Filter." International Journal of Modern Communication Technologies & Research (IJMCTR) no. 4 Vol. 2 pp. 62-64

[8] Pozar, David M. 2011. *Microwave Engineering – 4th Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons

[9] Fang, G.Y.; X.J. Zhang, dan Y.Z. Zhu. 2009. "General Design of Compact T-shaped Line Filter with Ultra-wide Stopband." Journal of Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS) Moskow, 18-21 Agustus 2009 pp. 1555-8.

[10] Sandhu, Muhammad Yameen. 2014. *Monolithic Integrated Ceramic Waveguide Filters* (Thesis) pp 9-18. School of Electronic & Electrical Engineering. Leeds : The University of Leeds

[11] Praludi, Teguh dan Y. Sulaeman. 2013. "Desain dan Realisasi Filter Bandpass Mikrostrip dengan Struktur Hairpin." Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi (JET), Vol. 13, No. 1, Juni 2013 pp. 33-3.