

Rancang Bangun *Matched Mixer* sebagai Komponen Penyusun *IQ Mixer* pada Aplikasi *Synthetic Aperture Radar*

ABDURRASYID RUHIYAT^{1,2}, FAROHAJI KURNIAWAN², CATUR APRIONO^{1*}

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia

²Pusat Riset Teknologi Penerbangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

Email : abdurrasyid.ruhiyat@ui.ac.id,

*Corresponding author: catur@eng.ui.ac.id

Received 30 April 2024 | Revised 10 Juni 2024 | Accepted 16 Juni 2024

ABSTRAK

IQ Mixer adalah komponen yang penting pada subsistem RF Synthetic Aperture Radar (SAR) karena berperan untuk melakukan proses Single Side Band (SSB) modulation antara sinyal quadrature base chirp (IF) dengan sinyal carrier (LO), sehingga mampu menurunkan beban kerja Field Programmable Gate Arrays (FPGA) dan meningkatkan resolusi sistem SAR. IQ Mixer tersusun dari satu Quadrature LO Phase Shifter, dua Matched Mixer dan satu Power Combiner-Splitter. Pada penelitian ini dipaparkan mengenai perancangan Matched Mixer yang dibuat dengan menggunakan anti-phase coupler dan konfigurasi double balanced mixer. Anti-phase coupler yang digunakan merupakan modifikasi dari quadrature coupler dengan tujuan untuk menghindari interferensi karena adanya saluran transmisi yang saling menyilang. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa anti-phase coupler memiliki nilai phase unbalance dibawah 1°, amplitude unbalance dibawah 0,6 dB dan untuk double balanced mixer memiliki nilai conversion loss (CL) sebesar 9,58 dB.

Kata kunci: *Coupler, Matched Mixer, IQ Mixer, Synthetic Aperture Radar*

ABSTRACT

IQ Mixer is an important component in the RF Synthetic Aperture Radar (SAR) subsystem that plays a role in carrying out the single side band modulation process between the quadrature base chirp (IF) signal and the carrier (LO) signal, thereby reducing the workload of the Field Programmable Gate Arrays (FPGA) and increasing the resolution of SAR systems. IQ Mixer is composed of a Quadrature LO Phase Shifter, two Matched Mixers, and a Power Combiner-splitter. This research describes the process of designing a matched mixer, which is made using an anti-phase coupler and a double-balanced mixer configuration. The anti-phase coupler is a modified version of the quadrature coupler to avoid interference due to crossing transmission lines. The measurement results show that the anti-phase coupler has a phase unbalance value below 1°, an amplitude unbalance below 0.6 dB, and the double-balanced mixer has a conversion loss value of 9.58 dB.

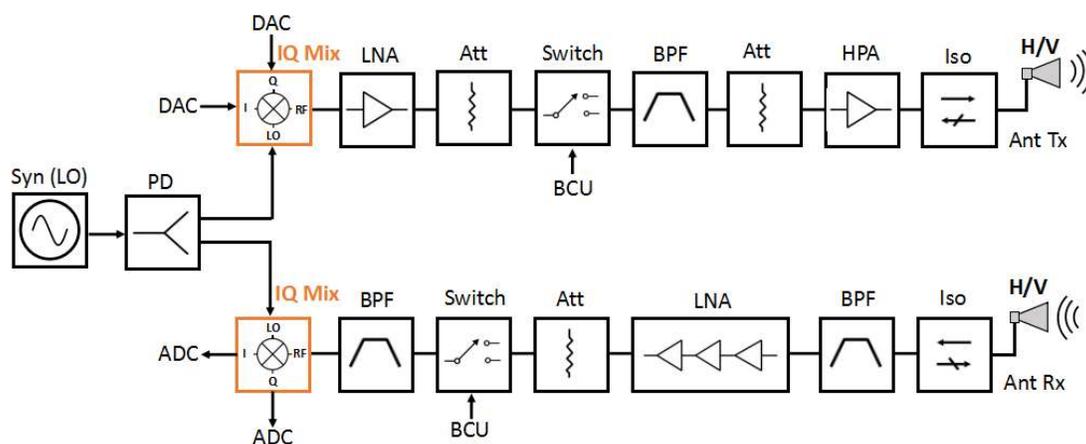
Keywords: *Coupler, Matched Mixer, IQ Mixer, Synthetic Aperture Radar*

1. PENDAHULUAN

Synthetic Aperture Radar (SAR) merupakan instrumen yang handal dalam bidang pengindraan jauh (*remote sensing*) karena kemampuannya yang bisa beroperasi pada berbagai kondisi cuaca, menembus lapisan vegetasi, awan maupun tanah, serta tidak memerlukan cahaya matahari untuk beroperasi. Ini dimungkinkan karena SAR secara mandiri memancarkan sinyal elektromagnetik untuk mendapatkan informasi dari obyek yang diamati (Ulaby, 1981). Sedangkan sistem pencitraan optik konvensional memanfaatkan cahaya matahari untuk mendapatkan informasi obyek sehingga membatasi waktu operasi hanya pada saat siang hari atau kondisi langit cerah.

Sistem SAR setidaknya terdiri dari lima subsistem, yaitu *Power Unit*, *Baseband and Control Unit* (BCU), *Radio Frequency Unit* (RF), *Inertial and Navigation Unit* (INU) dan *Antenna* (Sumantyo, 2023). *Power Unit* berperan untuk mendistribusikan dan menyediakan daya yang stabil untuk setiap komponen yang ada pada sistem SAR. BCU berperan untuk menghasilkan dua buah *quadrature base chirp signal* (I dan Q), merekam data pantulan sinyal (*reflection*) dan mengatur *switch*. *RF Unit* berperan untuk mengolah sinyal analog, seperti menyediakan sinyal LO (*carrier*), melakukan proses *mixing*, *filtering*, *amplifying* dan *routing* sinyal. INU berperan untuk memantau kondisi *payload* serta merekam informasi kecepatan dan posisi yang berasal dari GPS. *Antenna* berfungsi untuk mentransmisikan sinyal elektromagnetik dan menerima pantulan sinyal dari obyek.

Subsistem RF memiliki peran penting pada sistem SAR karena kualitas subsistem RF akan mempengaruhi kinerja sistem SAR secara keseluruhan (Chua, 2019). Subsistem RF tersusun dari berbagai komponen dalam bentuk *modular* yang terhubung dengan menggunakan konektor atau kabel, diantaranya seperti *synthesizer*, *power divider*, *IQ mixer*, *amplifier*, *filter*, *switch* dan *isolator*. Komponen-komponen dengan sifat modular tersebut, baik aktif maupun pasif, berpotensi untuk dikembangkan secara terpisah atau bersama dalam satu bentuk *printed circuit board* (PCB).

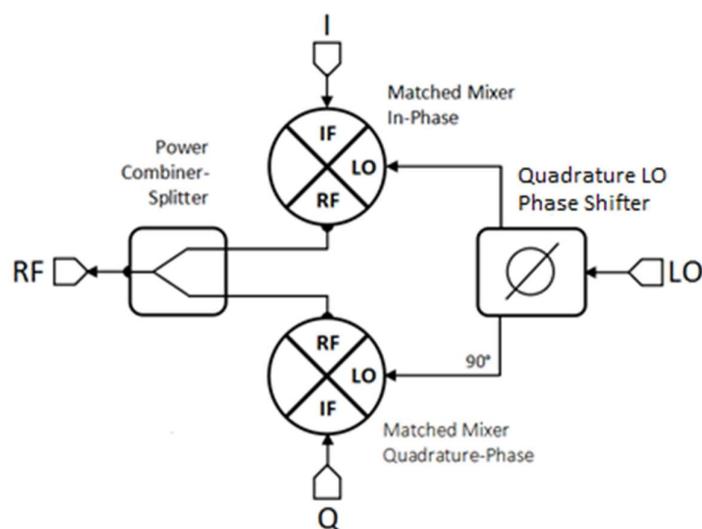


Gambar 1. Blok Diagram Subsistem RF SAR

IQ Mixer sebagai salah satu penyusun subsistem RF merupakan komponen yang penting karena perannya dalam melakukan proses *single side band (ssb) modulation*, antara dua buah sinyal *quadrature base chirp* (I dan Q) yang memiliki frekuensi maksimum 75 MHz dengan satu buah sinyal *carrier* (LO) yang memiliki frekuensi 5,5 GHz, seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 1. Proses ini akan menurunkan beban kerja *Field Programmable Gate Arrays* (FPGA) serta meningkatkan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan. Peningkatan *bandwidth* ini menjadi penting karena akan berbanding lurus dengan resolusi sistem SAR (**Ozdemir, 2021**).

Gambar 2 menunjukkan struktur *IQ mixer* yang tersusun dari tiga komponen, yaitu; *quadrature LO phase shifter*, *matched mixer* dan *power combiner-splitter*. *Quadrature LO phase shifter* berperan untuk menyediakan dua buah sinyal *carrier* yang memiliki perbedaan fasa sebesar 90° , *matched mixer* berperan untuk mencampurkan sinyal *base chirp* yang merupakan sepasang *quadrature signal* (I dan Q) dengan sinyal *carrier* yang juga memiliki perbedaan fasa 90° dan *power combiner-splitter* berperan untuk menggabungkan sinyal hasil proses *mixing* ketika bekerja pada sisi *transmitter* atau membagi sinyal RF yang datang ketika bekerja pada sisi *receiver* (**Jorgesen, 2018**). Ketiga komponen penyusun *IQ mixer* tersebut bisa dibuat sebagai komponen pasif sehingga bisa di realisasikan menggunakan mikrostrip dan metode fabrikasi *wet etching* (**Edwards, 2016**).



Gambar 2. Struktur IQ Mixer

Sebelumnya telah ada beberapa penelitian yang berkaitan dengan perancangan *mixer*, seperti pembuatan *single-balanced mixer* yang digunakan untuk aplikasi transponder satelit dengan memanfaatkan *rat-race coupler* dan *filter* pada *IF port* (**Guo, 2011**), perancangan *subharmonic mixer* sebagai *single-sideband mixer* (**Liu, 2023**), pembuatan *single-balanced mixer* untuk digunakan pada suhu *cryogenic* (77 K) (**Citron, 2021**), pembuatan *mixer* yang mengkombinasikan *coplanar strip line* dan *microstrip* (**Mohyuddin, 2018**), pembuatan *mixer* yang digunakan untuk komunikasi satelit *extremely high-frequency* (EHF) (**Palombini, 2016**), *dual band mixer* untuk aplikasi WIFI (**Pushpa, 2021**), serta *harmonic mixer* untuk sistem *retrodirective* (**Zeng, 2022**). Pada penelitian-penelitian tersebut, parameter kinerja berupa penekanan (*suppression*) intermodulasi dan *conversion loss* masih dapat ditingkatkan untuk mendapatkan kinerja sistem yang lebih baik. Selain itu, pada penerapan frekuensi yang ditinjau belum ada yang berfokus pada frekuensi C-band.

Penelitian ini mengusulkan perancangan *matched mixer* sebagai komponen penyusun *IQ mixer* yang akan digunakan untuk aplikasi *synthetic aperture radar* dengan konfigurasi *double balance* dan memanfaatkan *quadrature hybrid coupler* yang dimodifikasi menjadi *anti-phase coupler* sehingga lebih mudah untuk diintegrasikan dan mengurangi interferensi antar saluran

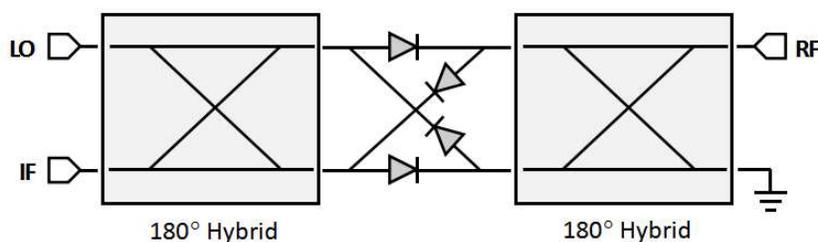
transmisi (Edwards, 2016). *Matched mixer* ini dirancang untuk bekerja pada frekuensi LO 5,5 GHz, dengan frekuensi *basechirp* 0-75 MHz dan *bandwidth* sinyal RF sebesar 150 MHz.

2. METODOLOGI

2.1 Konfigurasi *Matched Mixer*

Matched mixer merupakan salah satu komponen penyusun *IQ mixer* yang berperan untuk melakukan proses *mixing* antara sinyal *quadrature basechirp* (I atau Q) dengan sinyal *carrier* (LO). Setiap konfigurasi *mixer* seperti *single diode mixer*, *single-balanced mixer*, *double-balanced mixer* ataupun *triple-balanced mixer* bisa digunakan sebagai *matched mixer* (Cox, 2022). Dari empat model tersebut, *double-balanced mixer* merupakan konfigurasi *mixer* yang memiliki perpaduan seimbang antara dimensi, kualitas dan kompleksitas desain (Jorgesen, 2018).

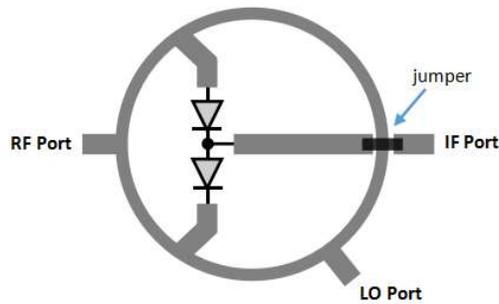
Gambar 3 menunjukkan struktur *double-balanced mixer* yang tersusun dari dua buah *hybrid coupler 180°* (*anti-phase*) dan empat buah dioda dengan konfigurasi *cross-over ring*. *LO port* dan *RF port* dipasang bersebrangan pada *differential port* sedangkan *IF port* di ambil dari *sum port*. *Isolation port* yang tidak digunakan akan diterminasi menggunakan resistor 50 Ω yang terhubung ke ground (Kingsley, 2016).



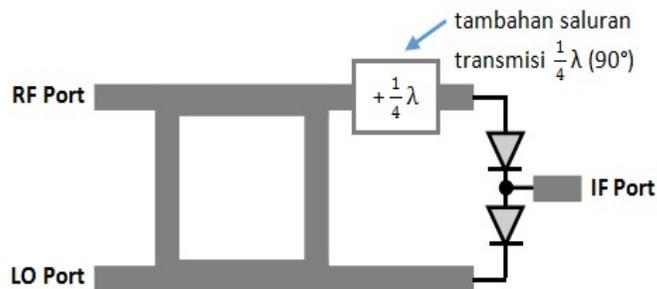
Gambar 3. Struktur *Double-balanced Mixer*

Rat-race coupler secara alami bisa menghasilkan dua buah keluaran sinyal yang memiliki perbedaan fasa sebesar 180° sehingga bisa langsung digunakan untuk *drive* dioda. Akan tetapi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, jika menggunakan *rat-race coupler* maka salah satu *port* akan terapat sehingga diperlukan *jumper* untuk melewati sinyal diatas saluran transmisi lain yang tentunya berpotensi meningkatkan *interference* (Guo, 2011). Sebagai alternatif, *branchline coupler* (*quadrature phase*) yang menghasilkan keluaran dua buah sinyal dengan perbedaan fasa 90° bisa dimodifikasi dengan menambahkan saluran transmisi yang mempunyai panjang $1/4 \lambda$ sehingga perbedaan fasa di kedua sinyal output menjadi 180° (Edwards, 2016), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 4 dan Gambar 5 secara berurutan menunjukkan *rat-race coupler* dan *branch-line coupler* yang digunakan sebagai *single-balanced mixer*. Dengan menggunakan dua buah *single-balanced mixer* dan menyusunnya seperti konfigurasi yang ditunjukkan pada Gambar 3 maka akan di dapat konfigurasi baru berupa *double-balanced mixer*.



Gambar 4. *Rat-race Coupler* sebagai *Single-balanced Mixer*



Gambar 5. *Branch-line Coupler* sebagai *Single-balanced Mixer*

2.2 Substrat

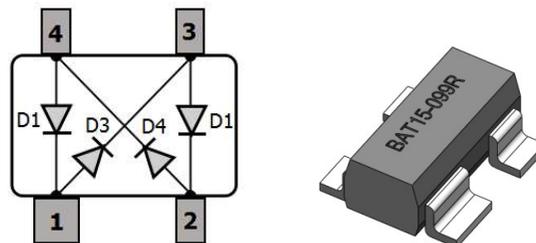
Matched mixer dibuat dengan menggunakan mikrostrip dan metode fabrikasi *printed circuit* atau *wet etching*. Jenis substrat yang digunakan adalah RT/duroid 5880 dengan detail spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1. Substrat dengan ketebalan (h) yang tipis dipilih karena akan berbanding lurus dengan dimensi lebar saluran transmisi, sedangkan untuk permittivity (ϵ_r) akan berlaku sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa untuk nilai impedansi yang sama, semakin tipis ketebalan substrat maka akan semakin kecil pula lebar saluran transmisi dan semakin rendah nilai *permittivity* substrat maka lebar saluran transmisi akan semakin besar (Kingsley, 2016).

Tabel 1. Spesifikasi Substrat RT/duroid 5880

Spesifikasi	Nilai
Permittivity (ϵ_r)	2,2
Dissipation factor ($\tan \delta$)	0,0009
Substrate Thickness (h)	0,51 mm
Conductor Thickness (t)	0,035 mm

2.3 Dioda

Matched mixer dibuat sebagai komponen pasif yang bisa bekerja tanpa memerlukan sumber daya tambahan atau tegangan bias, sehingga jenis komponen *non-linear* yang digunakan pada mixer adalah dioda. Dioda tersebut akan berfungsi seperti *switch* yang berada pada kondisi *on* atau *off* sesuai dengan polaritas sinyal LO (Marki, 2010). Dioda yang digunakan adalah Infineon BAT15-099R yang sudah terintegrasi dalam satu bentuk *integrated circuit* (IC) dengan konfigurasi *cross-over ring* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

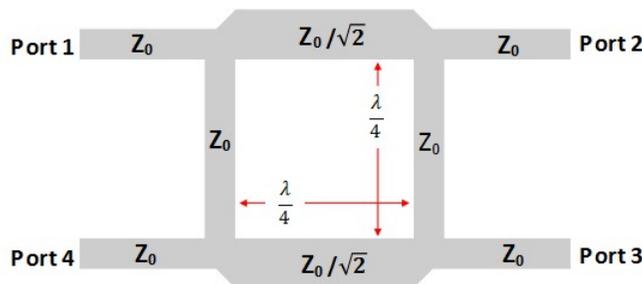


Gambar 6. Konfigurasi (kiri) dan Ilustrasi (kanan) Dioda Infineon BAT15-099R

2.4 Perancangan dan Simulasi

Matched mixer dibuat dengan konfigurasi *double balanced mixer* yang tersusun dari dua buah *coupler 180°*. Pada penelitian ini *coupler* yang digunakan merupakan *quadrature hybrid branch-line coupler* (*coupler 90°*) yang dimodifikasi dengan menambahkan saluran transmisi sepanjang $1/4 \lambda$ sehingga perbedaan fasa sinyal yang sebelumnya 90° menjadi 180° . Dengan konfigurasi tersebut *mixer* akan lebih mudah untuk diintegrasikan dan mengurangi interferensi karena tidak adanya saluran transmisi yang melintang seperti jika menggunakan *rat-race coupler* (Guo, 2011).

Gambar 7 menunjukkan konfigurasi umum dari *quadrature hybrid branch-line coupler* yang tersusun dari dua pasang saluran transmisi dengan nilai impedansi Z_0 dan $Z_0/\sqrt{2}$, *input port* dan *output port* diambil dari setiap pertemuan kedua saluran transmisi tersebut. Karena bentuknya yang simetris maka posisi dari setiap *port* bisa ditukar. Adapun kriteria utama dari desain *coupler 90°* maupun *coupler 180°* adalah harus memiliki nilai *phase unbalance* tidak lebih dari 5° dan *amplitude unbalance* tidak lebih dari 0,6 dB.



Gambar 7. Konfigurasi Umum Quadrature Hybrid Branch-line Coupler

Tabel 2 merangkum nilai lebar dan panjang saluran transmisi mikrostrip dari hasil perhitungan dengan menggunakan nilai properti substrat yang ada pada Tabel 1 dan Persamaan (1), Persamaan (2) serta Persamaan (3) (Kingsley, 2016). Persamaan (1) digunakan untuk mendapatkan nilai *effective permittivity* (ϵ_e), Persamaan (2) digunakan untuk mendapatkan nilai impedansi (Z) sedangkan Persamaan (3) digunakan untuk mendapatkan nilai panjang gelombang (λ) dimana variabel c merupakan nilai kecepatan cahaya di ruang hampa.

Tabel 2. Panjang dan Lebar Saluran Transmisi

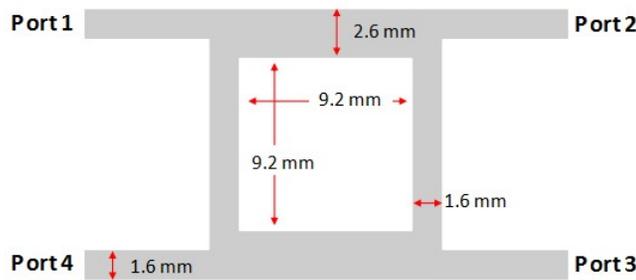
Impedansi	Lebar	Panjang ($1/4 \lambda$)
$Z_0 = 50 \text{ Ohm}$	1,6 mm	10,4 mm
$Z_0/\sqrt{2} = 35.15 \text{ Ohm}$	2,6 mm	10,2 mm

Perancangan dilakukan dengan menggunakan nilai yang ada pada Tabel 2 dan model pada Gambar 7. Rancangan *coupler* kemudian disimulasikan dengan menggunakan program CST Microwave Studio. Karakterisasi dilakukan hingga mendapatkan respon maksimum pada frekuensi 5,5 GHz. Tahap selanjutnya adalah modifikasi rancangan dengan penempatan lengan *input* dan *output* sejajar dengan sisi luar *coupler* untuk mendapatkan respon S_{31} dan S_{24} yang sebelumnya menurun menjadi mendatar (*flat gain response*). Gambar 8 menunjukkan rancangan dengan dimensi dan model akhir dari *coupler* 90° yang merupakan basis desain dari *matched mixer*. Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 9 mengindikasikan bahwa kebutuhan bandwidth RF sebesar 150 MHz sudah terpenuhi sehingga struktur *coupler* tidak perlu lagi dirubah untuk mendapatkan bandwidth yang lebih lebar (Sun, 2019).

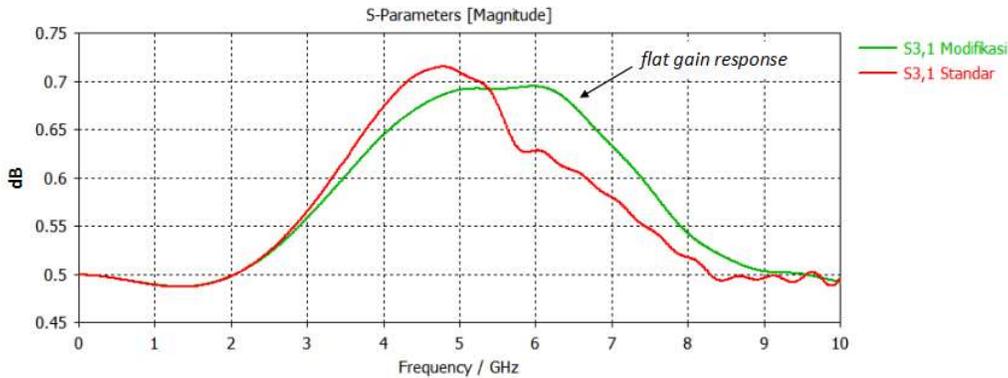
$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-0.5} - 0.217(\epsilon_r - 1) \frac{t}{\sqrt{wh}} \quad (1)$$

$$Z = \frac{120\pi\epsilon_e^{-0.5}}{\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln\left(1.444 + \frac{w}{h}\right)} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_e}} \quad (3)$$



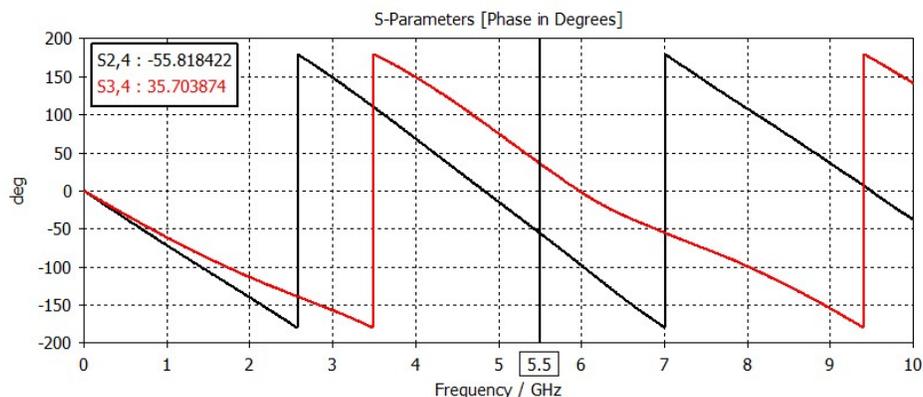
Gambar 8. Dimensi Akhir Desain *Quadrature Hybrid Branch-line Coupler*



Gambar 9. Perbandingan Hasil Simulasi S_{31} *Coupler* 90°

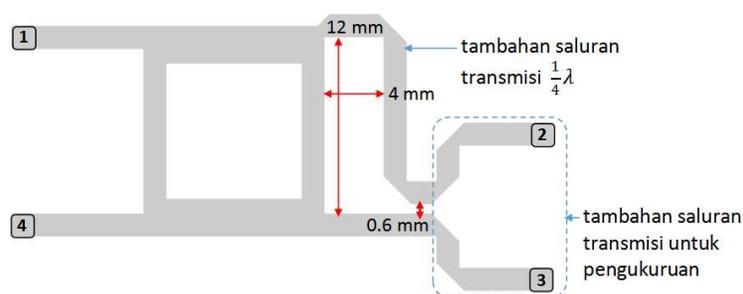
Gambar 10 menunjukkan nilai S-parameter (fasa) S_{24} dan S_{34} dari hasil simulasi. S_{24} menunjukkan nilai $-55,818^\circ$ sedangkan S_{34} menunjukkan nilai $35,704^\circ$, sehingga selisih fasanya adalah $91,522^\circ$. Desain tersebut memiliki nilai *phase unbalance* sebesar $1,522^\circ$ yang sudah memenuhi kriteria yang diinginkan untuk spesifikasi *coupler* 90°.

Rancang Bangun *Matched Mixer* Sebagai Komponen Penyusun *IQ Mixer*
 Pada Aplikasi *Synthetic Aperture Radar*



Gambar 10. Hasil Simulasi *Coupler 90°* (fasa)

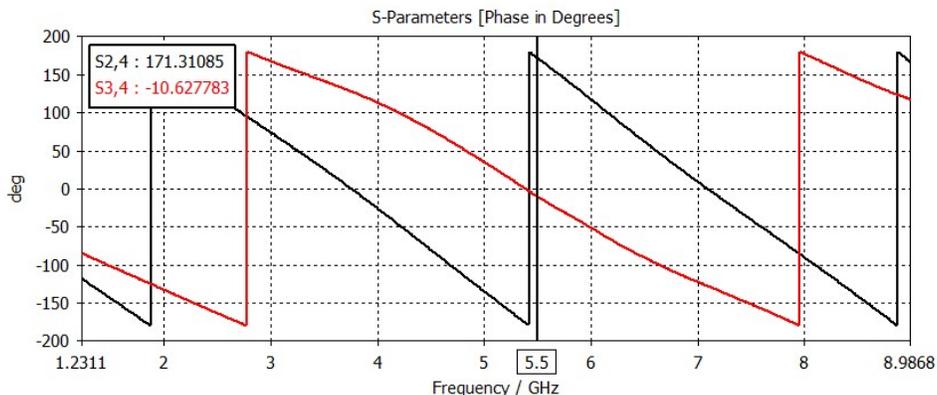
Selanjutnya, untuk mendapatkan perbedaan fasa sebesar 180° maka salah satu output port coupler ditambahkan saluran transmisi sepanjang $1/4 \lambda$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Modifikasi ini dibuat dengan turut mempertimbangkan penempatan dioda ketika coupler dirangkai menjadi *double balanced mixer*, ujung kedua output saluran transmisi saling bertemu dengan jarak 0,6 mm menyesuaikan dengan dimensi dioda yang digunakan. Karena jarak kedua output *port* terlalu berdekatan, maka untuk keperluan pengukuran ditambahkan pula saluran transmisi baru yang memungkinkan dipasangnya konektor di kedua ujung output port. Tambahan saluran transmisi tersebut memiliki pola dan panjang yang sama agar perbedaan fasa sebesar 180° di kedua output tetap terjaga.



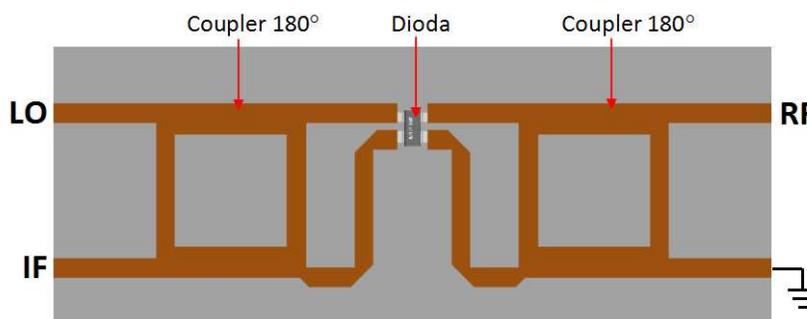
Gambar 11. Modifikasi *Coupler 90°* Menjadi *Coupler 180°*

Gambar 12 menampilkan nilai S-parameter (fasa) hasil simulasi dari coupler 90° yang telah dimodifikasi menjadi coupler 180° , dimana S_{24} menunjukkan nilai $171,311^\circ$ sedangkan S_{34} menunjukkan nilai $-10,628^\circ$ sehingga selisih fasanya menjadi $181,939^\circ$. Karena target perbedaan fasa di kedua port output adalah 180° maka dari hasil simulasi tersebut didapat nilai *phase unbalance* sebesar $1,939^\circ$ yang artinya memenuhi kriteria yang diinginkan karena nilainya lebih kecil dari 5° .

Coupler 180° yang selesai disimulasikan kemudian disusun menjadi *double balanced mixer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Dua buah coupler yang identik dipasang saling berhadapan dan dihubungkan dengan menggunakan empat buah dioda yang sudah terintegrasi dalam bentuk IC. Port LO dan Port IF berada pada sisi yang sama, port RF berada di coupler yang lain, sedangkan salah satu port yang tidak digunakan akan diterminasi menggunakan *dummy load* sebesar 50Ω .



Gambar 12. Hasil Simulasi *Coupler 180°* (fasa)



Gambar 13. Konfigurasi Akhir *Double-balanced Mixer*

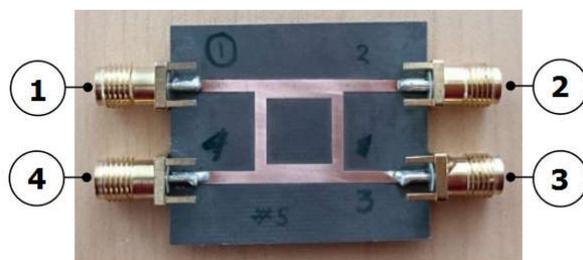
3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Komponen yang sudah selesai disimulasikan kemudian difabrikasi dengan menggunakan metode *wet etching* dan substrat RT/duroid 5880. Setiap port dilengkapi dengan konektor jenis *SMA female* untuk kemudian diukur dengan menggunakan KEYSIGHT FieldFox Microwave Analyzer N9917A di Pusat Riset Teknologi Penerbangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bogor.

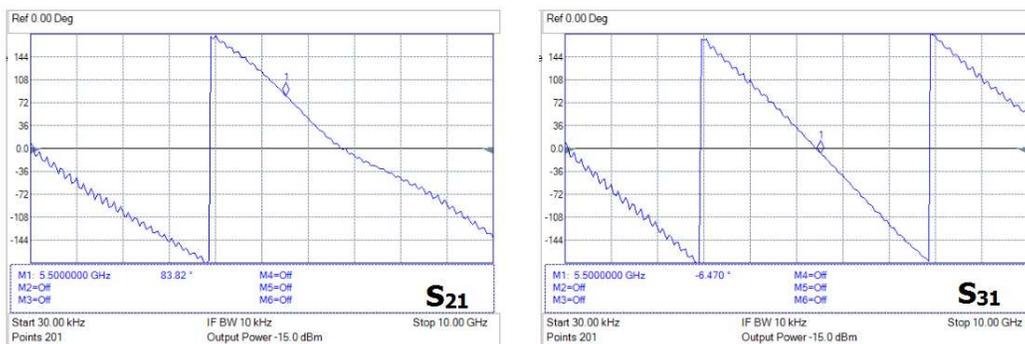
3.1 Hybrid Coupler 90°

Gambar 14 menunjukkan *hybrid coupler 90° (quadrature)* yang telah difabrikasi dan digunakan sebagai basis desain untuk *double-balanced mixer*, selain itu *coupler* ini juga bisa difungsikan sebagai *quadrature LO phase shifter* yang menghasilkan sinyal *carrier* dengan perbedaan fasa sebesar 90°. Gambar 15 menampilkan hasil pengukuran coupler yang menunjukkan nilai 83,82° untuk S_{21} (fasa) dan nilai -6,47° untuk S_{31} (fasa) sehingga selisihnya menjadi 90,29° dan nilai *phase unbalance* menjadi 0,29° yang artinya sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Karena bentuknya yang simetris maka nilai S_{21} akan identik dengan nilai S_{34} dan nilai S_{31} akan identik dengan nilai S_{24} .

Rancang Bangun *Matched Mixer* Sebagai Komponen Penyusun *IQ Mixer*
 Pada Aplikasi *Synthetic Aperture Radar*



Gambar 14. Hasil Fabrikasi *Hybrid Coupler 90°*

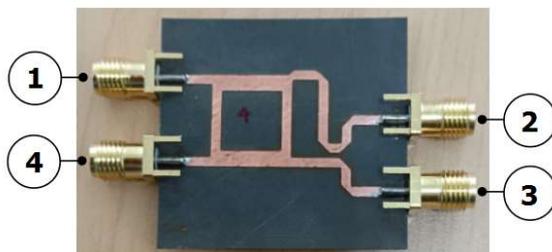


Gambar 15. Hasil Pengukuran S-parameter (Fasa) *Hybrid Coupler 90°*

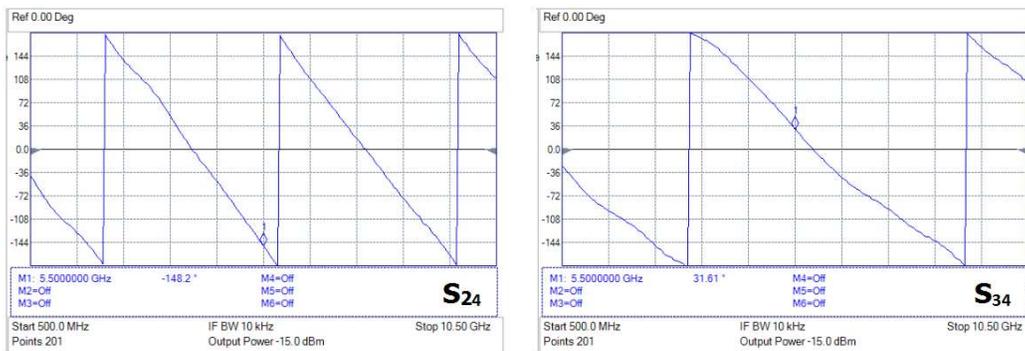
3.2 Hybrid Coupler 180°

Gambar 16 menunjukkan *hybrid coupler 180° (anti-phase)* yang telah difabrikasi. Coupler tersebut merupakan hasil modifikasi dari coupler 90° dengan cara menambahkan saluran transmisi sepanjang $1/4 \lambda$ pada lengan port 2 sehingga perbedaan fasa sinyal dari port 2 dan port 3 menjadi 180°, dengan sinyal input berasal dari port 4.

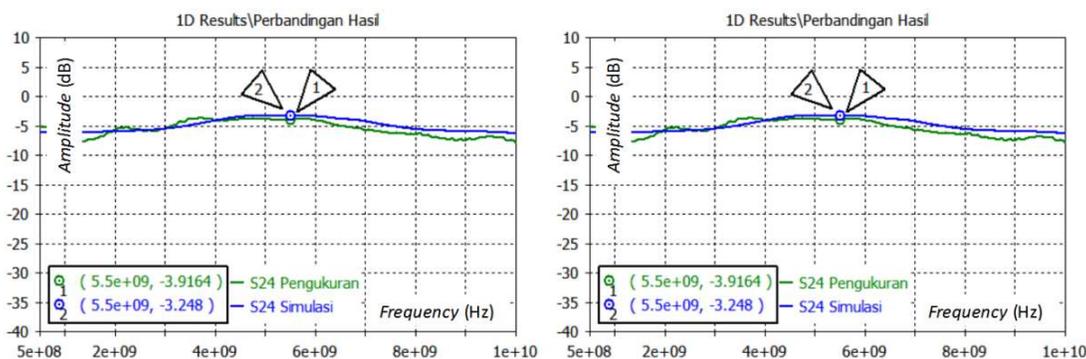
Gambar 17 dan Gambar 18 menampilkan hasil pengukuran dari S-parameter berupa fasa dan amplitudo dari *hybrid coupler 180°*. Pengukuran S₂₄ (fasa) menunjukkan nilai 31,61°, S₃₄ (fasa) menunjukkan nilai -148,2° sehingga selisihnya menjadi 179,81° dan nilai *phase unbalance* 0,19° yang artinya sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Sedangkan hasil pengukuran S-parameter S₂₄ (amplitudo) menunjukkan nilai -3,916 dB, S₃₄ (amplitudo) menunjukkan nilai -3,387 dB sehingga nilai *amplitude unbalance* menjadi 0,529 dB yang artinya juga sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan.



Gambar 16. Hasil Fabrikasi *Hybrid Coupler 180°*



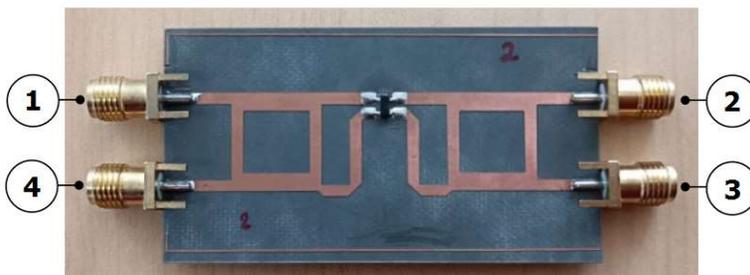
Gambar 17. Hasil Pengukuran S-parameter (fasa) *Hybrid Coupler 180°*



Gambar 18. Hasil Simulasi dan Pengukuran S-parameter (amplitudo) *Hybrid Coupler 180°*

3.3 Double Balanced Mixer

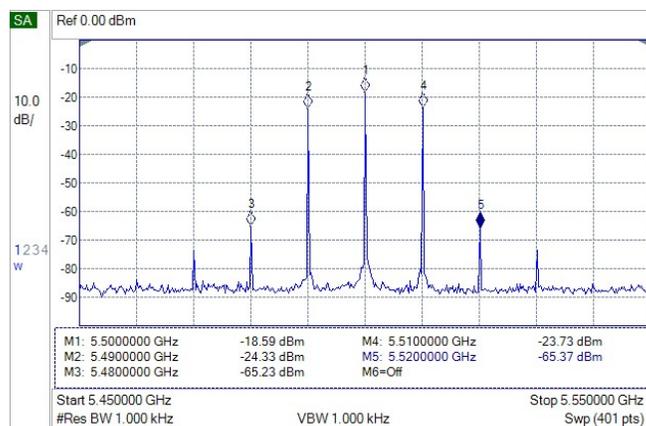
Setelah desain akhir *hybrid coupler 180°* selesai dibuat, selanjutnya coupler bersama dioda disusun menjadi *double balanced mixer* dan difabrikasi dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19. Port 1 merupakan port LO yang berfungsi sebagai *input* sinyal *carrier* dengan frekuensi 5,5 GHz, port 2 merupakan port RF yang berfungsi sebagai *output port* pada saat proses *upconversion* dan menjadi *input port* pada saat proses *dowconversion*, port 3 yang tidak digunakan pada saat pengukuran diterminasi menggunakan *dummy load* 50 ohm, sedangkan port 4 merupakan port IF yang menjadi *input port* sinyal *basechirp* pada saat *upconversion* dan menjadi *output port* pada saat *dowconversion*.



Gambar 19. Hasil Fabrikasi *Double-balanced Mixer*

Rancang Bangun *Matched Mixer* Sebagai Komponen Penyusun *IQ Mixer*
Pada Aplikasi *Synthetic Aperture Radar*

Dengan menggunakan sinyal *basechirp* 10 MHz (IF) dan sinyal *carrier* 5,5 GHz (LO), *double-balanced mixer* diukur dan diuji fungsinya dengan hasil seperti yang ditampilkan pada Gambar 20. Dari hasil pengujian terlihat bahwa proses *mixing* sudah terjadi dimana pada keluaran port RF terukur ada tiga buah sinyal dengan amplitudo yang signifikan yaitu sinyal *Lower Side Band* (LSB) dengan besaran frekuensi 5,49 GHz yang merupakan frekuensi sinyal LO dikurangi frekuensi sinyal IF ($f_{LO}-f_{IF}$) dan *Upper Side Band* (USB) dengan frekuensi 5,51 GHz yang merupakan frekuensi sinyal LO ditambah dengan frekuensi sinyal IF ($f_{LO}+f_{IF}$), sedangkan di pertengahan merupakan sinyal dengan frekuensi 5,5 GHz yang merupakan sinyal *LO Leakage* (Setty, 2022).

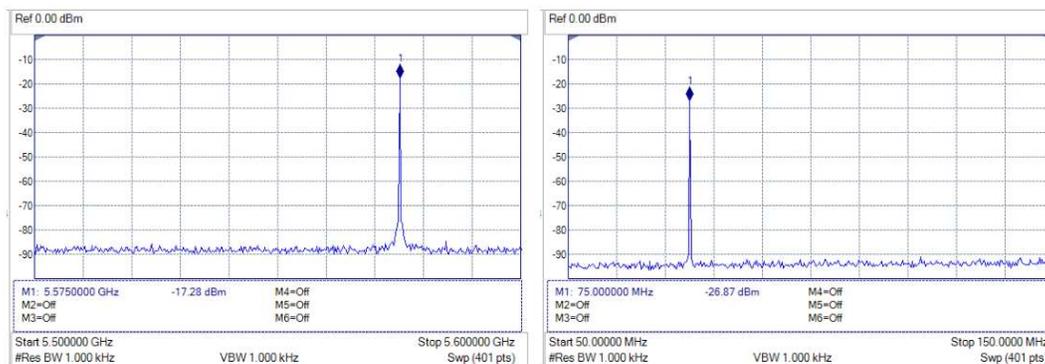


Gambar 20. Hasil Pengukuran *Double-Balanced Mixer* (*Upconversion*)

Dari pengukuran pula di dapat nilai isolasi antar port sebesar 18,266 dB untuk isolasi port IF-RF, 29,136 dB untuk isolasi port LO-IF dan 21,346 dB untuk isolasi port LO-RF. Nilai-nilai tersebut sudah sesuai dengan tipikal isolasi *double-balanced mixer* pada kisaran 10 dB sampai 30 dB (Rosu, 2023) dan masih bisa ditingkatkan dengan cara menambahkan filter sesuai dengan frekuensi kerja disetiap port.

Selanjutnya, salah satu paramater lain yang diukur pada mixer adalah nilai *conversion loss* (CL). CL merupakan perbandingan daya dari sinyal RF yang masuk dengan sinyal IF yang keluar setelah melewati proses *downconversion*. Gambar 21 menunjukkan hasil CL dengan menggunakan *sample* berupa *single frekuensi* yang menjadi masukan pada port RF (Marki, 2010). Karena sinyal *basechirp* (IF) berada pada rentang 0-75MHz maka *sample* frekuensi sinyal RF yang digunakan adalah 5,575 GHz. Dengan frekuensi tersebut maka pada port IF akan terukur sinyal dengan frekuensi 75 MHz yang merupakan selisih dari sinyal LO 5 GHz dan sinyal RF 5,575 GHz.

Sinyal RF yang masuk ke dalam *double-balanced mixer* terukur -17,28 dBm pada frekuensi 5,575 GHz sedangkan output sinyal pada port IF terukur -26,87 dBm pada frekuensi 75 MHz, dengan input LO sebesar 5 dBm pada frekuensi 5,5 GHz, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 21. Dari pengukuran tersebut maka di dapat nilai CL untuk *double balanced mixer* sebesar 9,59 dB yang merupakan selisih daya sinyal RF dengan sinyal IF.



Gambar 21. Hasil Pengukuran *Conversion Loss*, *Input RF* (kiri) dan *Output IF* (kanan)

Tabel 3 menunjukkan perbandingan nilai *conversion loss* beberapa penelitian yang berkaitan dengan *mixer*. Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai *conversion loss* dari *double balanced mixer* hasil penelitian ini berada dipertengahan dengan nilai 9,59 dB bila dibandingkan dengan hasil penelitian lain dimana nilai *conversion loss* terkecil berada dikisaran 6 dB dan nilai terbesar berada pada kisaran 12 dB.

Tabel 3. Perbandingan Nilai *Conversion Loss*

Referensi	Frekuensi LO (GHz)	Conversion Loss (dB)	Keterangan
(Guo, 2011)	9,8	9	<i>Microstrip, single balanced mixer</i> dengan menggunakan <i>coupler 180°</i> , untuk aplikasi transponder satelit
(Liu, 2023)	107,5	12	<i>Wave guide-microstrip, subharmonic mixer</i> , yang difungsikan sebagai <i>single sideband mixer</i>
(Citron, 2021)	1,9	9,97	<i>Microstrip, single balanced mixer</i> dengan <i>coupler 90°</i> , untuk aplikasi komponen pada suhu <i>cryogenic</i> (-196.1° C)
(Mohyuddin, 2018)	1-18	8,2	<i>Stripline-microstrip, double balanced mixer</i> untuk aplikasi <i>wideband</i>
(Palombini, 2016)	18-21	12	<i>MMIC, sub harmonic, double balanced mixer</i> , untuk aplikasi komunikasi satelit <i>Extremely High Frequency</i> (EHF)
(Pushpa, 2021)	1,3	10	<i>Microstrip, subharmonic mixer</i> untuk aplikasi <i>dual band wifi</i>
(Zeng, 2022)	35	6,8	<i>Wave guide-microstrip, single balanced mixer</i> untuk aplikasi sistem <i>retrodirective</i>
Penelitian ini	5,5	9,58	<i>Microstrip, double balanced mixer</i> dengan <i>coupler 180°</i> , untuk IQ mixer pada aplikasi <i>synthetic aperture radar</i>

4. KESIMPULAN

Double-balanced mixer yang dirancang untuk bekerja pada frekuensi LO 5,5 GHz dan *bandwidth* RF sebesar 150 MHz telah selesai didesain, disimulasikan dan difabrikasi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa dari setiap tahapan proses perancangan komponen, yang dimulai dengan pembuatan *hybrid coupler 90°*, kemudian *hybrid coupler 180°* hingga menjadi *double-balanced mixer*, telah berfungsi dengan baik dan memenuhi spesifikasi yang diinginkan. *Coupler* memiliki nilai *phase unbalance* lebih kecil dari 1° dan nilai *amplitude unbalance* lebih kecil dari 0,6 dB. *Double-balanced mixer* memiliki nilai isolasi lebih besar dari 18 dB pada port IF-RF, port LO-IF dan LO-RF, serta memiliki nilai *conversion loss* sebesar 9,59 dB. Karenanya, *double-balanced mixer* yang telah dibuat ini bisa difungsikan sebagai *matched mixer* dan menjadi bagian komponen penyusun *IQ mixer*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah mendukung penelitian ini melalui program Hibah Penelitian Tesis Master tahun 2024 dengan nomor kontrak NKB-928/UN2.RST/HKP.05.00/2024. Penelitian ini juga didukung oleh Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) melalui program Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM).

DAFTAR RUJUKAN

- Chua, M. Y., Sumantyo, J. T. S., Santosa, C. E., Panggabean, G. F., Sumantyo, F. D. S., Watanabe, T., Ji, Y. Q., Sitompul, P. P., Nasucha, M., Kurniawan, F., Purbantoro, B., Awaludin, A., Sasmita, K., Rahardjo, E. T., Wibisono, G., Jatmiko, R. H., Sudaryatno, S., Purwanto, T. H., Widartono, B. S., & Kamal, M. (2019, February). The maiden flight of Hinotori-C: The first C band full polarimetric circularly polarized synthetic aperture radar in the world. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, *34*(2), 24–35.
- Citron, N., Holdengreber, E., Sorkin, O., Schacham, S. E., & Farber, E. (2021). High-Performance RF Balanced Microstrip Mixer Configuration for Cryogenic and Room Temperatures. *Electronics*, *11*(1), 102. <https://doi.org/10.3390/electronics11010102>
- Cox, K. (2022). *A Quick Guide to Mixer Topologies*. <https://blog.minicircuits.com/a-quick-guide-to-mixer-topologies/>
- Edwards, T. C., & Steer, M. B. (2016). *Foundations for microstrip circuit design* (Fourth edition). John Wiley & Sons Inc.
- Guo, J., Xu, Z., Qian, C., & Dou, W.-B. (2011). Design Of A Microstrip Balanced Mixer For Satellite Communication. *Progress In Electromagnetics Research*, *115*, 289–301. <https://doi.org/10.2528/PIER11022109>
- Jorgesen, D. (2018). *IQ, Image Rejection Single Sideband Mixer Primer*. <https://markimicrowave.com/technical-resources/white-papers/iq-ir-ssb-mixer-primer/>
- Kingsley, N., & Guerci, J. R. (2016). *Radar rf circuit design*. Artech House.

- Liu, Y., Zhang, B., Niu, Z., Feng, Y., & Fan, Y. (2023). A Novel 180–210 GHz Single Sideband Mixer Using Filtering Waveguide-Microstrip Transition Structure. *IEEE Microwave and Wireless Technology Letters*, *33*(6), 727–730. <https://doi.org/10.1109/LMWT.2023.3248061>
- Marki, F., & Marki, C. (2010). *Mixer Basics Primer A Tutorial for RF & Microwave Mixers*. <https://markimicrowave.com/technical-resources/white-papers/mixer-basics-primer/>
- Mohyuddin, W., Lee, G. H., Kim, D. H., Kim, I. B., Choi, H. C., & Kim, K. W. (2018). A Compact Double-Balanced Diode Ring Mixer for Wideband Applications. *2018 48th European Microwave Conference (EuMC)*, 648–651. <https://doi.org/10.23919/EuMC.2018.8541547>
- Ozdemir, C. (2021). *Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms* (Second Edition). Wiley.
- Palombini, D., Cavanna, T., Arena, S., & Limiti, E. (2016). Design Of Sub-Harmonic Mixer MMIC for EHF Satellite Links. *Progress In Electromagnetics Research C*, *66*, 149–161. <https://doi.org/10.2528/PIERC16022906>
- Pushpa, K., & Ghosh, J. (2021). Dual-band Subharmonic Mixer for Wifi Application With Improved Conversion Loss And RF-to-IF Isolation. *Progress In Electromagnetics Research C*, *112*, 11–20. <https://doi.org/10.2528/PIERC21030408>
- Rosu, I. R. (2023). *RF Mixers*. https://www.qsl.net/va3iul/RF%20Mixers/RF_Mixers.pdf
- Setty, R. (2022). *I&Q Mixers, Image Reject Down-Conversion & Single Sideband (SSB) Up-Conversion*. <https://blog.minicircuits.com/iq-mixers-image-reject-down-conversion-single-sideband-ssb-up-conversion/>
- Sumantyo, J. T. S., Chua, M. Y., Santosa, C. E., & Izumi, Y. (2023). *Airborne Circularly Polarized SAR: Theory, System Design, Hardware Implementation, and Applications* (First Edition). CRC Press.
- Sun, R., Chen, Q., Han, R., & Lu, Z. (2019). Analysis and Design of Wideband 90° Microstrip Hybrid Coupler. *IEEE Access*, *7*, 186409–186416. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2957122>
- Ulaby, F. T., Moore, R. K., & Fung, A. K. (1981). *Microwave remote sensing: Active and passive* (I). Artech House.
- Zeng, J. J., Lin, X. Q., Su, Y. H., Yang, Y. M., Mei, P., & Zhu, Z. B. (2022). Low-Cost Third-Harmonic Mixer for -Band Retrodirective System Applications <i></i>. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, *32*(11), 1323–1326. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2022.3184627>