

Simulasi dan Realisasi *Microstrip RF Amplifier* 9,3 GHz Untuk Radar Pantai

YUSNITA RAHAYU¹, NICOLAS PEDRO RITONGA², YUDI YULIYUS MAULANA³,
YUSSI PERDANA SAPUTERA⁴, ARIEF BUDI SANTIKO⁵, ANHAR⁶

^{1,2,6}Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

^{3,5}Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung, Indonesia

⁴PT. Radar Telekomunikasi Indonesia, Bandung, Indonesia

Email: yusnita.rahayu@lecturer.unri.ac.id

Received 13 September 2023 | Revised 27 Oktober 2023 | Accepted 18 November 2023

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang membutuhkan kemandirian teknologi radar pantai untuk keperluan pengawasan. Maka, kebutuhan akan RF amplifier yang murah merupakan suatu keharusan. Makalah ini menyajikan simulasi dan realisasi microstrip RF amplifier menggunakan RT/Duroid 5580 dan teknik matching stub pada frekuensi 9,3 GHz. Teknik ini merupakan yang efektif untuk frekuensi tinggi dan mencocokkan impedansi dengan nilai imajiner. Komponen aktif MGF2407A dipilih dengan konfigurasi DC fixed bias. Dari hasil simulasi, RF amplifier yang diusulkan memiliki gain sebesar 10,318 dB, S11 sebesar -26 dB dan S22 sebesar -28 dB dengan kompresi P1dB sebesar 11 dBm. Namun, selama pengukuran, RF amplifier memberikan redaman akibat pengaruh penyolderan, short circuit, dan electro statis discharge. Untuk parameter terukur lainnya memenuhi persyaratan standar. Hal ini menunjukkan realisasi microstrip RF amplifier untuk frekuensi tinggi memiliki tingkat keberhasilan yang rendah.

Kata kunci: radar pantai, penguat daya, matching stub, mikrostrip

ABSTRACT

Indonesia is an archipelagic country that needs to monitor its islands. For the independence of coastal radar technology, the need for low cost RF amplifiers is a must. This paper presents simulation and realization of microstrip RF amplifier used RT/Duroid 5580 and matching stub technique worked at 9.3 GHz. This matching technique is effective for high frequency and to match the impedance with imaginer value. The active component of MGF2407A was chosen with DC fixed bias configuration. From simulation, the proposed RF amplifier has gain of 10.318 dB, S11 of -26 dB and S22 of -28 dB with P1dB compression at 11 dBm. However, during the measurement, the RF amplifier provides attenuation due to soldering, short circuit, and electro statis discharge effects. For other measured parameters met the standard requirements. This demonstrates the low success rate of realizing microstrip RF amplifiers for high frequencies.

Keywords: coastal radar, power amplifier, matching stub, microstrip

1. PENDAHULUAN

Dengan wilayah laut yang mendominasi lebih dari dua pertiga ($2/3$) wilayah Indonesia dan memiliki sekitar 17.504 pulau, Indonesia dapat dianggap sebagai negara maritim (**Lubis, dkk, 2017**). Selama tahun 2022, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) berhasil mengamankan 97 kapal perikanan ilegal, terdiri dari 18 kapal ikan asing (KIA) dan 79 kapal ikan Indonesia (KII) (**Respati, dkk, 2023**). Untuk memperkuat pelaksanaan tugas keamanan dan pengawasan di wilayah kepulauan Indonesia, diperlukan aparat dan peralatan dalam jumlah yang besar. Kemampuan Tentara Nasional Indonesia (TNI) dan Kepolisian Negara Republik Indonesia (Polri) dalam mengawasi perairan Indonesia sangat terbatas, sehingga meningkatkan risiko terjadinya pencurian ikan, pelanggaran wilayah oleh kapal asing, pembajakan kapal, dan penyelundupan (**Utami, dkk, 2018**). Oleh karena itu, diperlukan bantuan peralatan yang dapat mendukung kegiatan pertahanan dan keamanan di laut.

Teknologi radar dapat menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan sistem keamanan dan pengawasan wilayah perairan Indonesia (**Munir, dkk, 2014**). Radar adalah alat pemantauan penting dalam kondisi visibilitas yang buruk dan digunakan dalam navigasi laut dan udara. Navigasi radar laut umumnya menggunakan radar *monostatic* (**Zulfadli, dkk, 2014**). Persyaratan standar navigasi radar laut meliputi daya *transmit* yang tinggi, *gain* antena yang tinggi, dan sensitivitas penerima yang tinggi (**Lessi, dkk, 2014**). Saat ini, penggunaan radar maritim telah tersebar luas di berbagai jenis perairan. Tujuan utama dari teknologi ini adalah untuk memberikan informasi tentang jarak antara kapal dan target daratan (**Sulistyaningsih, dkk, 2019**). Oleh karena itu, sistem radar tidak hanya digunakan untuk navigasi di laut, tetapi juga untuk menghindari tabrakan antara kapal-kapal. Selain itu, penting untuk mentransmisikan sinyal dalam arah yang telah ditentukan untuk memastikan komunikasi yang efisien (**Da Costa, dkk 2015**). Radar telah dikembangkan dan diterapkan secara luas di berbagai negara untuk berbagai aplikasi, termasuk pemantauan udara, prediksi cuaca, pengendalian lalu lintas, aplikasi militer, dan banyak lagi (**Sulistyaningsih, dkk, 2016**).

Radar terdiri dari dua komponen utama, yaitu komponen pemancar dan komponen penerima. Komponen pemancar memiliki subkomponen yang disebut penguat gelombang mikro (*RF amplifier*) yang berfungsi untuk memperkuat sinyal sebelum dikonversikan menjadi gelombang elektromagnetik oleh antena. *RF amplifier* bertugas menguatkan gelombang mikro ke level yang lebih tinggi tanpa menyebabkan osilasi. Saat ini, modul *RF amplifier* diimpor dengan harga yang tinggi karena biaya tenaga kerja yang tinggi di negara produsen seperti Eropa dan Amerika Serikat (AS). Oleh karena itu, dikembangkan modul penguat gelombang mikro (*RF amplifier*) untuk meminimalisasi biaya pengembangan radar (**Maulana, 2013**) dan meningkatkan kemandirian teknologi pertahanan. Selain itu, dari beberapa penelitian terkait, mikrostrip *RF amplifier* untuk frekuensi X-band tidak dijumpai. Pada umumnya peneliti merancang bangun mikrostrip *RF amplifier* pada rentang frekuensi rendah dan sedang (di bawah 6 GHz). Penggunaan komponen aktif seperti FET MGF2407A perlu dikaji lebih lanjut dan dianalisa terutama bekerja pada frekuensi tinggi.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat *RF amplifier*. Studi yang dilakukan oleh Munir., dkk merancang *RF amplifier* dengan frekuensi kerja 3 GHz dengan menggunakan AT-64020 BJT sebagai komponen aktif, menghasilkan penguatan sebesar 10 dB (**Munir, dkk, 2014**). Amarissa., dkk juga merancang sebuah *amplifier* yang bekerja pada frekuensi 3 GHz dengan menggunakan MMIC GALI-51+ sebagai komponen aktif dan menghasilkan penguatan sebesar 15 dB (**Amarissa, dkk, 2021**). Lalu, hasil studi oleh Ribate., dkk adalah sebuah *RF amplifier* dengan ATF13786 BJT sebagai komponen aktif yang dapat bekerja dari frekuensi 1-3 GHz dengan penguatan tertinggi 14 dB (**Ribate, dkk, 2018**). Kemudian, Rachakh., dkk merancang sebuah *RF amplifier* dengan AT-41410 BJT sebagai komponen aktif yang bekerja pada frekuensi 1,75 GHz – 2,15 GHz yang memberikan penguatan 13 dB sampai dengan 18

dB pada rentang yang disebutkan (**Rachakh, dkk, 2018**). Selanjutnya, *RF amplifier* rancangan Fevi., dkk menggunakan MMIC GALI-2+ yang bekerja pada frekuensi 5,5 GHz – 5,7 GHz yang dapat menguatkan sinyal sebesar 25 dB (**Sidabutar, dkk, 2019**). Dari beberapa penelitian di atas, metode penyesuaian impedansi yang digunakan adalah *matching stubs* dengan level penguatan bervariasi mulai dari 10 dB.

Kontribusi penelitian ini adalah hasil kajian perbandingan simulasi dan realisasi *RF amplifier* pada frekuensi x-band (9,3 GHz). Selain itu, teknik yang digunakan adalah teknik *gain* maksimum (*high gain*) sebagai dc bias dan teknik *matching stubs* sebagai penyesuaian impedansi karena metode ini efektif untuk melakukan penyesuaian impedansi yang memiliki nilai imajiner. Komponen aktif yang digunakan adalah *Field Effect Transistor* (FET) MGF2407A yang mampu bekerja pada frekuensi tinggi. Sementara itu, komponen pasif yang akan digunakan adalah teknologi mikrostrip untuk penyesuaian impedansi dan komponen chip untuk DC bias yang dipasang di atas substrat bahan Duroid/RT-5880. Tambahan, *software Keysight Advanced Design System* (ADS) akan digunakan sebagai fasilitas untuk mendukung perancangan penguat gelombang mikro. Tujuan Penelitian ini adalah merealisasikan mikrostrip *RF Amplifier* yang bekerja pada frekuensi tinggi 9,3 GHz untuk radar pengawas pantai dan membandingkan hasilnya dengan hasil simulasi untuk mengkaji tingkat keberhasilan realisasi *RF amplifier* yang dilakukan.

2. METODOLOGI

2.1 Spesifikasi *RF Amplifier*

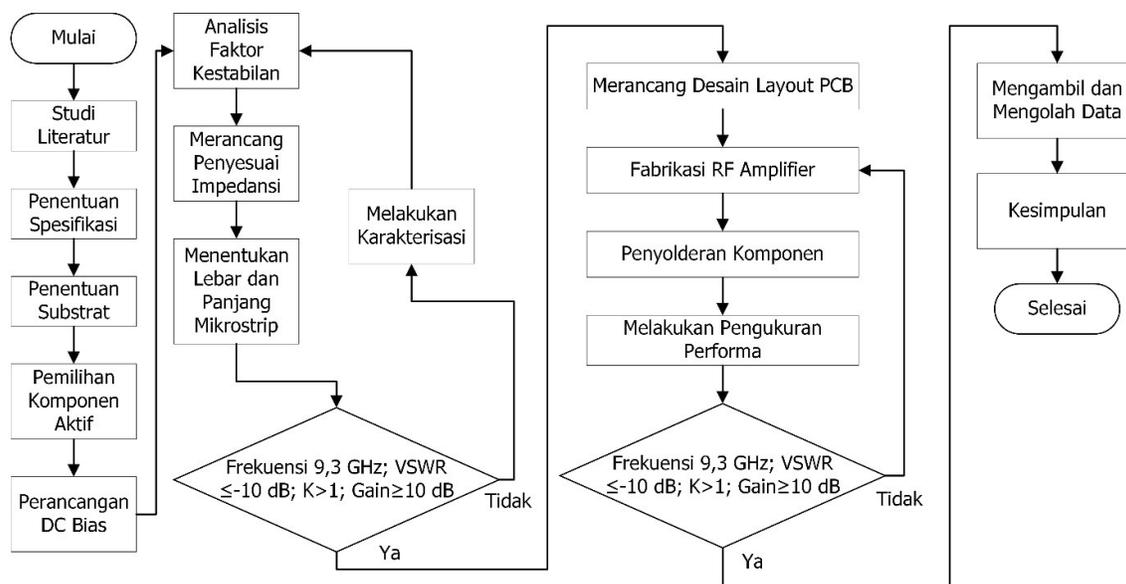
Pada penelitian ini, peneliti mengusulkan model *RF Amplifier* 1 tingkat. Tahapan perancangan pertama kali adalah menentukan karakteristik yang diharapkan sebagai berikut:

1. Frekuensi kerja : 9,3 GHz
2. *Return loss* : ≤ -10 dB
3. VSWR : $\leq 1,5$
4. Faktor Kestabilan : > 1
5. *Gain* : ≥ 10 dB

Dalam rancang bangun *RF Amplifier* yang diusulkan, peneliti menggunakan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Adapun perangkat keras yang digunakan adalah *Vector Network Analyzer* (VNA), *Signal Analyzer*, *Signal Generator*, dan *Programmable Power Supply* untuk pengujian kinerja. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Keysight Advanced Design System* untuk perancangan desain *RF Amplifier* dan simulasi untuk mengetahui performa *RF Amplifier* berdasarkan parameter terkait.

2.2 Diagram Alir

Diagram alir dibuat dengan tujuan mempermudah dalam perancangan *RF Amplifier* yang diusulkan dengan mengikuti langkah-langkah yang tersusun secara sistematis. Gambar 1 merupakan tampilan diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 1. Diagram Alir Rancang Bangun *RF Amplifier*

2.3 Perancangan *RF Amplifier*

Pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah Rogers 5880 dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1:

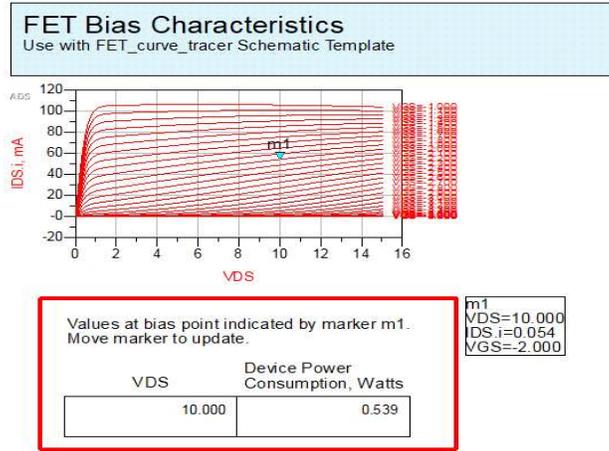
Tabel 1. Spesifikasi Substrat yang Digunakan

Jenis Substrat	Rogers 5880
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	2,2
Dielektrik <i>Loss Tangent</i> ($\tan \delta$)	0,009
Ketebalan Substrat	1,575 mm

Setelah menentukan substrat yang digunakan, diperlukan pemilihan komponen aktif. Perancangan ini menggunakan FET MGF207A yang diproduksi oleh Mitsubishi. MGF2407A adalah *field effect transistor* memiliki kemampuan untuk bekerja pada daya menengah menggunakan kelas-A dengan frekuensi S sampai Ku band. FET ini memiliki Paket *metalceramic* yang tertutup rapat menjamin kerugian parasit minimum, dan memiliki konfigurasi yang sesuai untuk rangkaian mikrostrip. Pemilihan MGF2407A sebagai komponen aktif adalah kemampuannya untuk bekerja hingga frekuensi KU-Band serta memiliki *power* hingga 24,5 dBm. Pada *datasheet*, dijelaskan juga melalui grafik karakteristik p1dB *compression* bahwa FET ini akan memberikan penguatan 10 dB jika diberi daya *input* sebesar 0-14 dBm (Mitsubishi, 2011). Hal ini menandakan bahwa komponen aktif yang dipilih dapat digunakan sebagai komponen aktif pada sebuah *RF Amplifier* yang sesuai dengan spesifikasi.

Tahap selanjutnya yaitu merancang DC Bias. Perancangan DC Bias meliputi penentuan titik kerja transistor, konfigurasi rangkaian DC Bias, dan perancangan *dc block* serta *dc feed*. Penentuan titik kerja berfungsi untuk menentukan titik kerja efektif agar transistor dapat beroperasi dengan baik (Liao, 1987). Titik kerja transistor ditentukan dengan melihat arus *drain-source* (IDS) dan tegangan *drain-source* (VDS) ideal pada *datasheet*. Setelah itu nilai

tegangan *gate-source* (VGS) dapat ditentukan dengan melihat grafik tegangan *knee* pada *datasheet* atau dapat disimulasikan pada perangkat lunak. Gambar 2 menunjukkan titik kerja yang digunakan pada perancangan ini yaitu nilai VDS sebesar 10 volt, nilai IDS sebesar 54 mA, nilai VGS sebesar -2 volt.



Gambar 2. Penentuan Titik Kerja Transistor Melalui Tegangan *Knee*

Konfigurasi *fixed bias* dipilih juga karena konfigurasi ini memiliki fitur tegangan minus yang mana tegangan tersebut dibutuhkan untuk menyalakan transistor MGF24407A (**Guillermo, 1984**). Selanjutnya, Nilai resistor pada drain (RD) dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan dengan Persamaan (1).

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{I_{DS}} \quad (1)$$

$$R_D = \frac{12 - 10}{0.054} = 37 \text{ Ohm} \approx 40 \text{ Ohm}$$

Selanjutnya, perancangan *dc block* dan *dc feed* perlu dilakukan untuk memblokir sinyal dc yang masuk ke transmisi sinyal dan memblokir sinyal untuk masuk ke catu daya (**Chandana, 2018**). Untuk perancangan *dc block* yaitu menentukan nilai kapasitor dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan nilai X_C pada sebuah induktor yang digunakan sebagai *dc feed* harus lebih kecil dari 2 Ohm di frekuensi kerja yang digunakan dengan menggunakan penghitungan dengan menggunakan Persamaan (2).

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2)$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 9,3 \times 10^9 \times 47 \times 10^{-12}} = 0,364 \Omega$$

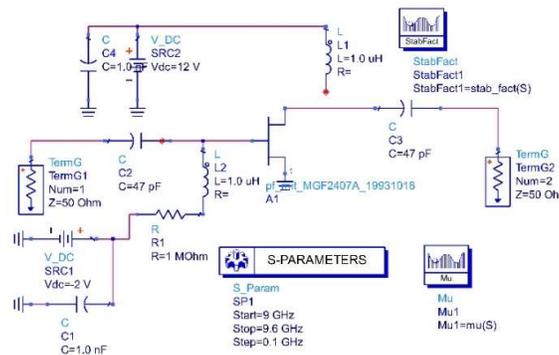
Dari penghitungan di atas, maka induktor dengan nilai 47 pF sebagai *dc block* dapat digunakan karena nilai X_L nya lebih dari 2 Ω . Untuk perancangan *dc feed* yaitu menentukan nilai kapasitor dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan nilai X_L pada sebuah induktor yang digunakan

sebagai *dc feed* harus lebih besar dari 500 Ohm di frekuensi kerja yang digunakan dengan menggunakan penghitungan dengan menggunakan Persamaan (3).

$$X_L = 2\pi fL \tag{3}$$

$$X_L = 2 \times 3,14 \times f \times L = 58404\Omega$$

Dari penghitungan di atas, maka induktor dengan nilai 1μH sebagai *dc feed* dapat digunakan karena nilai X_L nya lebih dari 500Ω. Rangkaian penguat dengan nilai kapasitor dan induktor yang telah ditentukan ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rancangan DC Bias

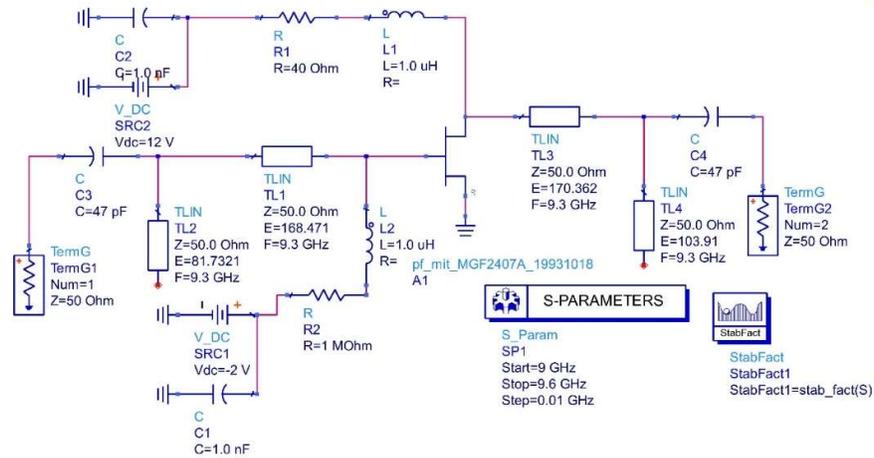
Setelah merancang DC bias untuk *RF Amplifier*, dilanjutkan dengan analisis faktor kestabilan. Faktor kestabilan dianalisis untuk mengetahui apakah nilai faktor kestabilan (K) sudah melebihi 1 atau tidak. Hal ini perlu dipastikan agar osilasi tidak terjadi saat *RF Amplifier* bekerja (Iyer, dkk, 2015). Selain menganalisis faktor kestabilan, perlu mengetahui nilai s-parameter dari komponen aktif yang digunakan yang telah diintegrasikan dengan konfigurasi dc bias yang sudah dirancang dengan mempertimbangkan titik kerja. Analisis faktor kestabilan dan s-parameter dari komponen aktif didapatkan dengan mensimulasikan rangkaian pada Gambar 3. Nilai faktor kestabilan dan s-parameter komponen aktif dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. S-Parameter dan Faktor Kestabilan

Frek.	S (1,1)	S (1,2)	S (2,1)	S (2,2)	K
9,1 GHz	0,891/143,669	0,032/-6,203	0,821/-21,198	0,720/-169,438	1,220
9,2 GHz	0,891/142,593	0,033/-5,586	0,813/-22,480	0,721/-170,655	1,210
9,3 GHz	0,891/140,446	0,034/-4,430	0,798/-25,030	0,724/-173,080	1,198
9,4 GHz	0,890/139,374	0,034/-3,896	0,791/-26,298	0,725/-174,289	1,186
9,5 GHz	0,890/138,303	0,035/-3,394	0,783/-27,561	0,726/-175,495	1,173
9,6 GHz	0,890/137,232	0,036/-2,926	0,776 /-28,820	0,726/ -176,700	1,169

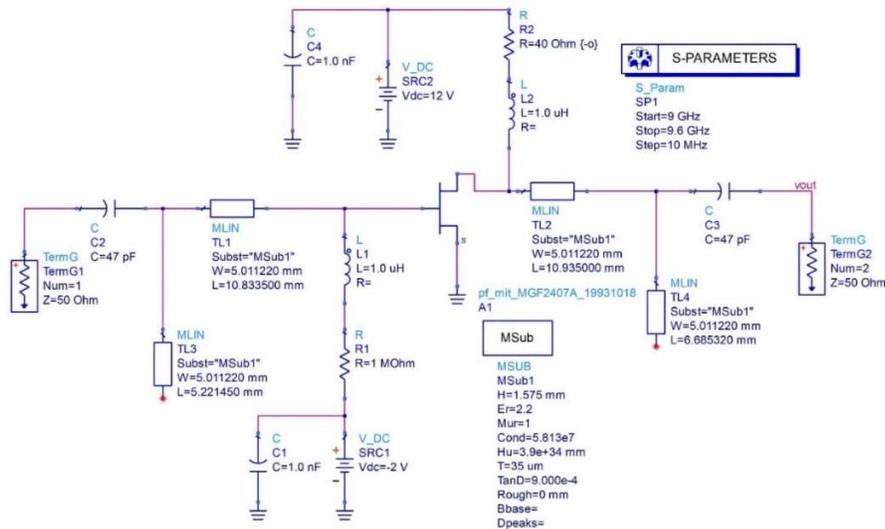
Setelah menganalisis faktor kestabilan, penyesuai impedansi perlu dirancang. Penyesuai impedansi dirancang agar perpindahan daya terjadi secara optimal dan meningkatkan *signal to noise ratio* (Ta, dkk, 2022). Perancangan penyesuai impedansi memperhatikan nilai-nilai

s-parameter yang ada pada Tabel 2. Cara yang ditempuh untuk merancang penyesuai impedansi yaitu dengan menggunakan fitur *smith chart* yang ada pada perangkat lunak ADS. Hasil penyesuai impedansi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Perancangan Penyesuai Impedansi Menggunakan Fitur *Smith Chart* ADS

Setelah penyesuai impedansi dirancang, panjang dan lebar dimensi mikrostrip yang berfungsi sebagai penyesuai impedansi dapat dirancang. Dengan menggunakan nilai *electrical length* (E) pada setiap TLIN yang ada pada Gambar 4, selanjutnya menentukan dimensi mikrostrip menggunakan fitur LineCalc pada ADS. Dengan memasukkan data yang dibutuhkan pada fitur tersebut seperti spesifikasi substrat yang digunakan, nilai impedansi, dan nilai *electrical length*, dimensi mikrostrip dapat diproses. Gambar 5 menunjukkan hasil perancangan panjang dan lebar dimensi mikrostrip sekaligus menjadi rangkaian *schematic final* dari perancangan ini.



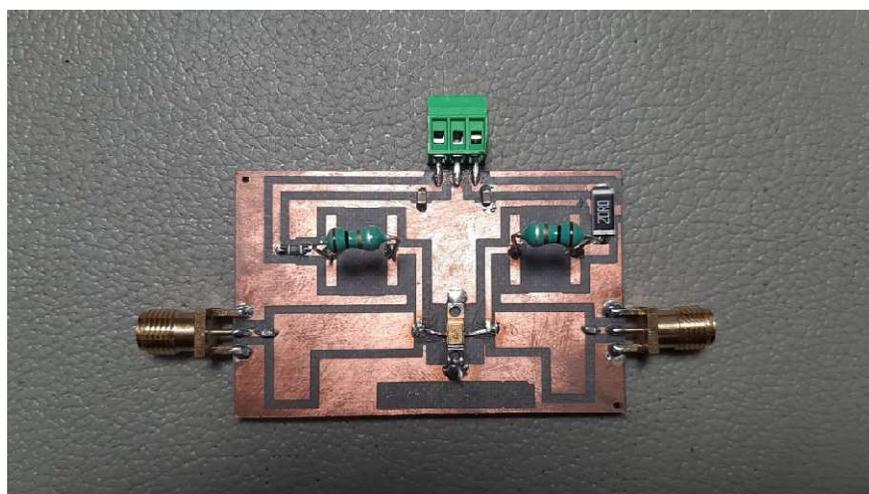
Gambar 5. Schematic Akhir Perancangan RF Amplifier

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

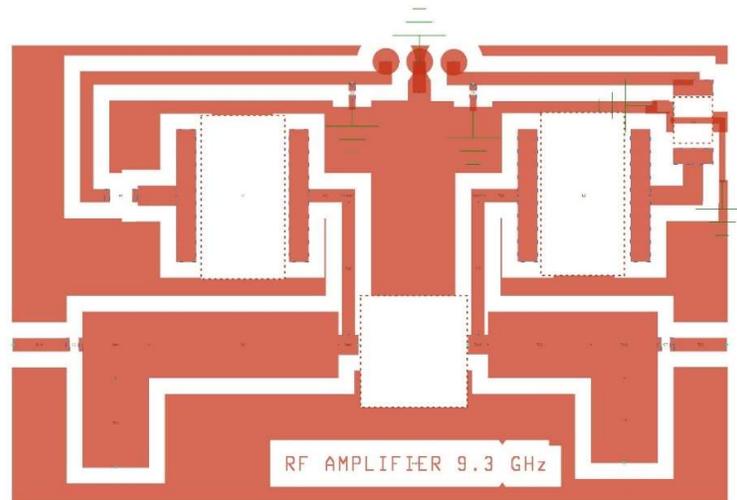
RF Amplifier direalisasikan berdasarkan *schematic* akhir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pada hasil realisasi tersebut, terdapat 2 connector SMA yang disolder pada *input* dan *output RF Amplifier* bersamaan dengan komponen *surface-mount device* (SMD) seperti resistor, induktor, kapasitor, dan komponen aktif yaitu MGF2407A. Gambar 7 menampilkan *layout* pcb akhir yang akan diproses di atas Duroid/RT5880 dengan ketebalan 1,575 mm. Tabel ukuran yang terkait dengan *RF amplifier* yang dirancang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Ukuran Komponen *RF Amplifier*

Komponen	Keterangan
Tegangan <i>Drain</i> (VDD)	12 Volt
Tegangan <i>Gate</i> (VGG)	-2 Volt
Induktor pada <i>Gate</i> (LG)	1 uH
Induktor pada <i>Drain</i> (LD)	1 uH
Kapasitor pada <i>Input</i>	47 pF
Kapasitor pada <i>Output</i>	47 pF
Resistor pada <i>Drain</i> (RD)	40 Ohm
Resistor pada <i>Gate</i> (RG)	1 MOhm
Lebar Mikrostrip	5,01122 mm
Panjang <i>microstrip series input</i> (TL1)	10,8335 mm
Panjang <i>microstrip series output</i> (TL2)	10,935 mm
Panjang <i>microstrip shunt input</i> (TL3)	5,22145 mm
Panjang <i>microstrip shunt input</i> (TL4)	6,68532 mm



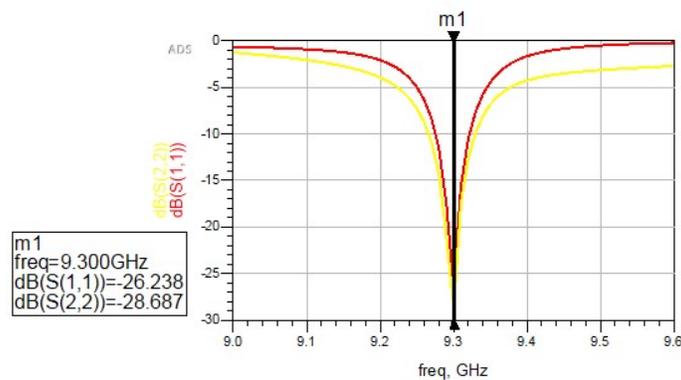
Gambar 6. Hasil Realisasi *RF Amplifier*



Gambar 7. Layout PCB Berdasarkan Schematic Akhir

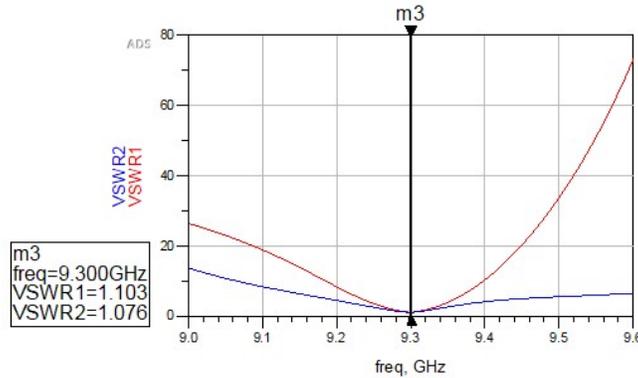
3.1 S-Parameter dan VSWR

Simulasi *return loss* penguat yang dirancang dilakukan pada bagian *source* dan *load*. Hasil simulasi *return loss* pada bagian *source* dan *load* penguat gelombang mikro yang dirancang ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Simulasi S₁₁ dan S₂₂ yang dirancang

Pada Gambar 8, garis merah menunjukkan nilai *return loss* pada bagian *source* (S₁₁). Sedangkan garis kuning menunjukkan nilai *return loss* pada bagian *load* (S₂₂). Nilai *return loss* pada *source* dan *load* masing-masing adalah -26,238 dB dan -28,687 dB pada frekuensi 9,3 GHz. Nilai *return loss* tersebut telah memenuhi nilai yang diharapkan pada spesifikasi yaitu kurang dari -10 dB pada frekuensi kerja 9,3 GHz. Maka dari itu, performa penguat yang dirancang jika dilihat dari parameter *return loss* telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Simulasi VSWR pada penguat yang dirancang dilakukan pada bagian *source* dan *load*. Hasil simulasi *return loss* pada bagian *source* dan *load* penguat gelombang mikro yang dirancang ditampilkan pada Gambar 9.

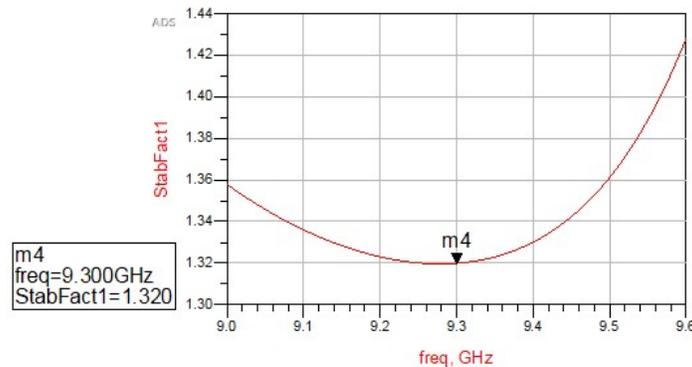


Gambar 9. Hasil Simulasi VSWR_{IN} dan VSWR_{OUT}

Pada Gambar 9, garis merah menunjukkan nilai VSWR pada bagian *source* (S11). Sedangkan garis biru menunjukkan nilai VSWR pada bagian *load* (S22). Nilai VSWR pada *source* dan *load* masing-masing adalah 1,103 dan 1,076 dB pada frekuensi 9,3 GHz. Nilai tersebut telah memenuhi nilai yang diharapkan pada spesifikasi yaitu kurang dari 1,5 pada frekuensi kerja 9,3 GHz. Maka dari itu, performa penguat yang dirancang jika dilihat dari parameter VSWR telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

3.2 Faktor Kestabilan

Simulasi faktor kestabilan pada penguat yang dirancang dilakukan untuk mengetahui apakah penguat akan bekerja tanpa beresilasi. Hasil simulasi faktor kestabilan penguat gelombang mikro yang dirancang ditampilkan pada Gambar 10.

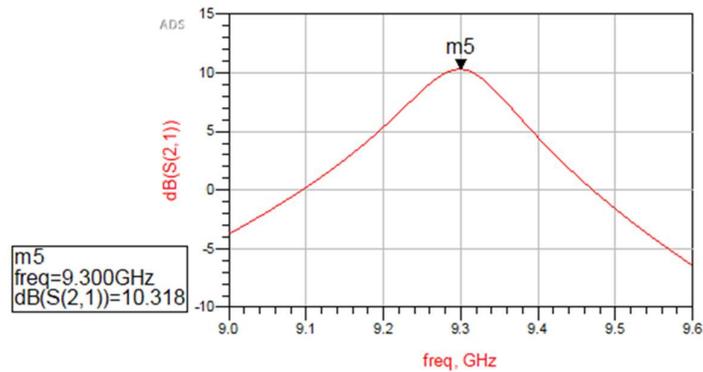


Gambar 10. Hasil Simulasi Faktor Kestabilan

Pada Gambar 10, garis merah menunjukkan nilai faktor kestabilan dari frekuensi 9 GHz sampai dengan 9,6 GHz. Berdasarkan Gambar tersebut, nilai faktor kestabilan penguat yang dirancang adalah 1,320 pada frekuensi 9,3 GHz. Nilai faktor kestabilan tersebut telah memenuhi nilai yang diharapkan pada spesifikasi yaitu lebih dari 1 pada frekuensi kerja 9,3 GHz (*unconditionally stable*). Maka dari itu, performa penguat yang dirancang jika dilihat dari parameter faktor kestabilan telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

3.3 Gain dan p1dB Compression

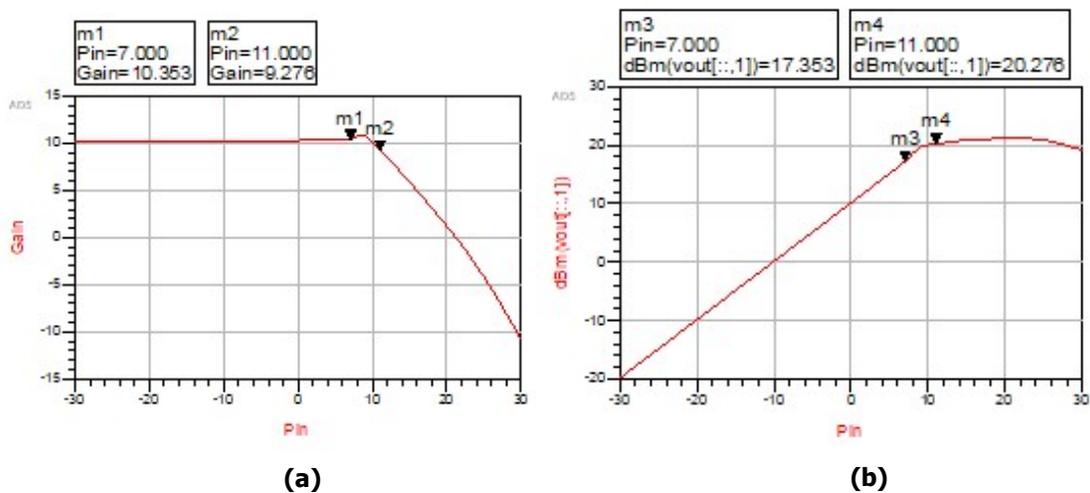
Simulasi penguatan yang dihasilkan (S21) pada penguat yang dirancang dilakukan untuk mengetahui apakah penguat akan bekerja tanpa beresilasi. Hasil simulasi penguatan yang dihasilkan (S21) ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Simulasi *Gain RF Amplifier* yang Dirancang

Pada Gambar 11 tersebut, garis merah menunjukkan nilai penguatan dari frekuensi 9 GHz sampai dengan 9,6 GHz. Berdasarkan Gambar tersebut, nilai penguatan yang dihasilkan adalah 10,318 dB pada frekuensi 9,3 GHz. Nilai penguatan tersebut telah memenuhi nilai yang diharapkan pada spesifikasi yaitu lebih dari 10 dB pada frekuensi kerja 9,3 GHz. Maka dari itu, performa penguat yang dirancang jika dilihat dari penguatan yang dihasilkan telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

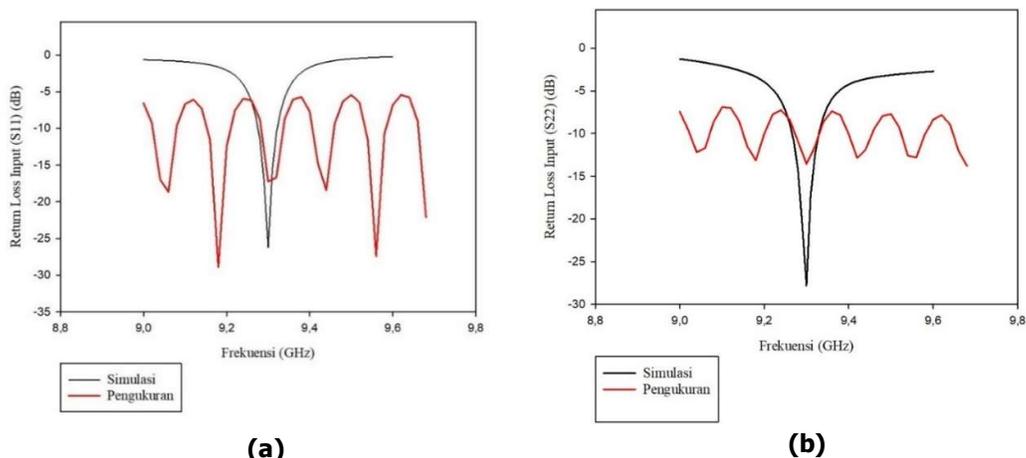
Pengukuran P1dB *compression* dilakukan untuk mengetahui *input* maksimum yang bisa dikuatkan oleh *RF amplifier*. Pada suatu titik tertentu penguatan akan mengalami penurunan hingga tidak memberikan penguatan sama sekali. Hasil Simulasi P1dB *compression* ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12. P1dB (a) dilihat dari penguatan (b) dilihat dari *output* yang dikeluarkan

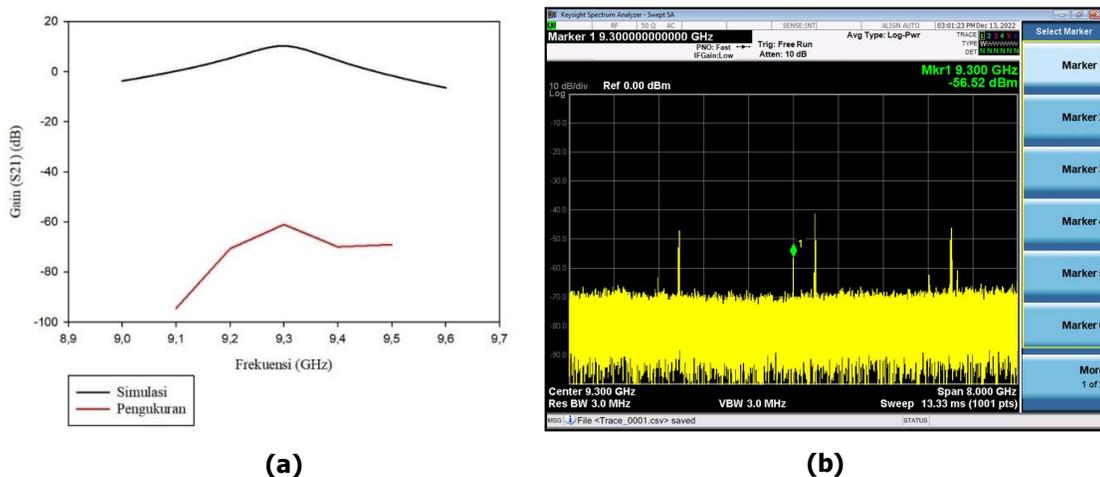
3.4 Perbandingan Pengukuran Hasil Simulasi dan Hasil Realisasi

Perbandingan parameter S11 dan S22 antara hasil simulasi dan hasil realisasi ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan Pengukuran S11 dan S22 (a) Hasil Simulasi dan (b) Hasil Realisasi

Berdasarkan Gambar 13, terdapat perbedaan antara besar *return loss* pada hasil pengukuran fabrikasi dan hasil simulasi desain *RF amplifier*. Pada frekuensi 9,3 GHz, nilai *return loss* untuk sumber dan beban dalam hasil pengukuran fabrikasi adalah -17 dB dan -13 dB secara berturut-turut. Sementara itu, dalam hasil simulasi, nilai *return loss* untuk sumber dan beban adalah -26 dB dan -27 dB secara berturut-turut pada frekuensi yang sama. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan antara hasil pengukuran fabrikasi dan simulasi desain *RF amplifier*. Perbandingan pengukuran *gain* pada hasil simulasi dan hasil realisasi dan tampilan *signal analyzer* pengukuran hasil realisasi ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Hasil (a) Perbandingan Pengukuran Gain Hasil Simulasi dan Hasil Realisasi dan (b) tampilan signal analyzer pengukuran hasil realisasi

Pada pengukuran ini, digunakan *input* dengan *power* sebesar 0 dBm. Setelah diberi tegangan bias, spektrum puncak *RF amplifier* terukur sebesar -56 dBm. Dalam Gambar 14, juga terlihat bahwa tidak hanya frekuensi 9,3 GHz yang terlihat, tetapi ada 6 amplitudo yang muncul dalam rentang pengujian 5 GHz. Salah satu contohnya adalah frekuensi 9,68 GHz dengan amplitudo sebesar -41,25 dB. Hasil pengukuran ini tidak sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Penguatan 10 dB yang direncanakan tidak terjadi saat tegangan bias diaktifkan dan sinyal RF dimasukkan ke *RF Amplifier*. Sebaliknya, yang terjadi pada *RF amplifier* yang difabrikasi adalah atenuasi. Tidak hanya atenuasi, *RF amplifier* juga mengalami osilasi, yang dapat terlihat dari adanya frekuensi yang muncul selama pengukuran, yaitu lebih dari satu frekuensi (**Cadence, 2020**). Kehadiran osilasi ini menyebabkan ketidakakuratan pada frekuensi yang dihasilkan oleh *RF amplifier* yang difabrikasi.

Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil realisasi pengukuran disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu penyebab kegagalan fabrikasi adalah kesalahan dalam proses penyolderan tidak dilakukan dengan benar, komponen transistor MGF2407a mengalami *short circuit* yang menyebabkan atenuasi daripada penguatan (**Wildan, dkk, 2016**). *RF amplifier* yang dirancang bekerja pada frekuensi tinggi sehingga memiliki sensitivitas yang sangat tinggi yang menyebabkan pergeseran hanya sebesar 0,1 mm dapat menyebabkan perubahan performa yang signifikan. Selain itu, pemasangan komponen seperti *port*, resistor, induktor, kapasitor, dan transistor pada substrat dilakukan tanpa menggunakan gelang pembumian atau gelang antistatis. Kerusakan yang disebabkan oleh *electro static discharge* (ESD) diasumsikan sebagai kerusakan yang tersembunyi karena beberapa komponen masih dapat diukur dalam sebagian performanya (**Hijriani, dkk, 2018**). Ketidakinleran pada *datasheet* dan performa komponen aktif juga berkontribusi pada perubahan performa yang terjadi (**Mulyadi, dkk, 2017**). Selain itu, tidak adanya penggunaan pendingin pada realisasi mengakibatkan panas tidak dapat dibuang dengan efisien, yang pada akhirnya menyebabkan terjadinya *short circuit* pada komponen aktif.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini melakukan simulasi dan realisasi *RF Amplifier* yang digunakan untuk radar pantai dengan frekuensi operasi 9,3 GHz pada pita X-Band. *Amplifier* ini menggunakan MGF2407A yang mampu bekerja pada frekuensi tinggi. Penyesuaian impedansi dilakukan menggunakan metode *single stub*. Hasil simulasi menunjukkan parameter yang diinginkan telah tercapai. Namun, hasil realisasi menunjukkan pada frekuensi 9,3 GHz, nilai *return loss* terbaik adalah -17 dB untuk *input* dan -13 dB untuk *output*, dengan *gain* -51 dB. Hal ini menunjukkan terjadinya redaman pada *RF amplifier* yang diuji. Setelah dikaji, ada beberapa faktor kemungkinan penyebab kegagalan fungsi *RF amplifier* seperti kesalahan dalam penyolderan yang menyebabkan *short circuit* pada komponen, kualitas komponen MGF2407A, *electro statis discharge*, *overheat*, dan ketidak tepatan rangkaian penyesuai impedansi. Oleh karena itu, realisasi mikrostrip *RF amplifier* untuk frekuensi tinggi menggunakan komponen aktif frekuensi tinggi menunjukkan faktor kegagalan yang lebih besar dibandingkan realisasi mikrostrip RF amplifier untuk frekuensi rendah. Selain itu, sensitivitas dan ukuran komponen aktif frekuensi tinggi yang kecil memberikan tingkat kesulitan dalam proses penyolderan yang berpengaruh terhadap hasil pengujian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kedaireka yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Matching Fund 2022. Kegiatan penelitian ini merupakan kolaborasi antara Universitas Riau dan PT. Radar Telekomunikasi Indonesia. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada BRIN atas fasilitas, saran dan masukan yang diberikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada LPPM Unri atas motivasi dan dukungannya selama penelitian ini dilaksanakan.

DAFTAR RUJUKAN

- Amarissa, P. A., Sutrisno, S., Madiawati, H., & Sulaeman, Y. (2021, September). Perancangan dan Simulasi Penguat 3 GHz Menggunakan Penyesuai Impedansi Single Stub untuk Radar Cuaca. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, (pp. 553-559).
- Cadence. (2020). *Power Amplifier Oscillation: Parasitics and Effects on Amplifiers*. Retrieved from <https://resources.pcb.cadence.com/blg/2020-power-amplifier-oscillation-parasitics-and-effects-on-amplifiers>
- Chandana. V.S. & Lakshmi. M. P. K. (2018). *Design of a Low Noise Amplifier for C-band Receivers using pHEMT*. *IJRECE*, 6(3), 2161-2165
- Da Costa, I. F., Santos, R. A., Patricio, S. C., Ribeiro, J. A. J., Spadoti, D. H., Bogoni, A., & Cerqueira, A. (2015, November). A dual-band slotted waveguide antenna array for radars applications. In *2015 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, (pp. 1-4). IEEE.
- Guillermo, G. (1984). *Microwave Transistor Amplifiers*.
- Hijriani, E., Maruddani, B., & Sandi, E. (2018). Rancang Bangun Rectifier Pada Rectenna Untuk Transfer Daya Wireless Pada Frekuensi 2, 45 GHz. *JURNAL PENDIDIKAN VOKASIONAL TEKNIK ELEKTRONIKA (JVoTE)*, 1(1), 6-9.
- Iyer, M., & Shanmuganatham, T. (2018). Design of Low Noise Amplifier for X band Application. *Themed Section: Engineering and Technology*, 2395-1990.
- Lessi, C., & Karagianni, E. (2014). An X-band low noise amplifier design for marine navigation radars. *Int'l J. of Communications, Network and System Sciences*, 2014.
- Liao, S. Y. (1987). *Microwave circuit analysis and amplifier design*. Prentice-Hall, Inc..
- Lubis, M. A. K., Yusuf, D. P., Zulkifli, F. Y., & Rahardjo, E. T. (2017, October). Bandwidth improvement with narrow wall slotted waveguide antenna. In *2017 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*, (pp. 93-95). IEEE.
- Maulana, Y. Y. (2013). *Desain Dan Realisasi Penguat Pemancar Gelombang Mikro 2-Tingkat Untuk Aplikasi Radar Fm-Cw Tesis*. (Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung)
- Mitsubishi. (2011). *< High-power GaAs FET (small signal gain stage) > MGF2407A S to Ku BAND / 0.28W non - matched* (D. Sheet (ed.)).
- Mulyadi, B., Muayyadi, A. A., & Wahyu, Y. (2017). Perancangan Dan Realisasi Penguat Daya Pada Frekuensi S-band Untuk Radar Pengawas Pantai. *eProceedings of Engineering*, 4(1).

- Munir, A., & Maulana, Y. Y. (2014, November). Characterization of 2-stage RF power amplifier for FMCW radar application. In *2014 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)*, (pp. 381-384). IEEE.
- Rachakh, A., El Abdellaoui, L., Zbitou, J., Errkik, A., Tajmouati, A., & Latrach, M. (2018). A Novel Configuration of a Microstrip Microwave Wideband Power Amplifier for Wireless Application. *TELKOMNIKA (Telecommunication, Computing, Electronics and Control)*, *16*(1), 224-231.
- Respati. A. R. & Sukmana. Y. (2023). *KKP Tangkap 97 Kapal "Illegal Fishing" pada 2022, Ada Usul Diberikan untuk Nelayan.* Retrieved from <https://money.kompas.com/read/2023/01/05/161454526/kkp-tangkap-97-kapal-illegal-fishing-pada-2022-ada-usul-diberikan-untuk?page=all>
- Ribate, M., Zbitou, J., Mandy, R., Erkik, A., & Latrach, M. (2018). Broadband GaAs FET power amplifier for L and S bands applications. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, *11*(5), 96-105.
- Sidabutar. A, Wijanto. H, Sulaeman Y., Prodi, S. (2019). Penguat Daya 500 Miliwatt Untuk Radar Cuaca 5 , 5-5 , 7 GHz High Power Amplifier 500 Milliwatt For Weather Radar. *e-Proceeding of Engineering*, *6*(2), 4393-4400
- Sulistyaningsih, S., Saputera, Y. P., Wahab, M., & Maulana, Y. Y. (2019). Design of radar display of Indonesian airspace monitoring application. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, *17*(3), 1176-1184.
- Sulistyaningsih, S., Wahab, M., Mahmudin, D., Permana, D., Maulana, Y. Y., & Estu, T. T. (2016). Development of coastal radar network at sunda strait. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, *14*(2), 507-514.
- Ta, P. L., Tran, C. D., & Bach, G. D. (2022). Design and Fabrication of an X-Band Low Noise Amplifier Using FR-4 for Military Radar and Ground Station Receiver Applications. *VNU Journal of Science: Mathematics-Physics*, *38*(2).
- Utami, E. Y. D., Indharti, H. A., Setiaji, F. D., & Wahyu, Y. (2018). Perancangan Antena Waveguide 32 Slot untuk Radar Pengawas Pantai. In *Conference on Electrical Engineering, Telematics, Industrial technology, (CENTIVE)*, (pp. 413-417).
- Wildan, M. (2016). Co-Design Dual band LNA dan Bandpass Filter Untuk Ground Check Monitoring pada Radio Navigation Aids. *Langit Biru: Jurnal Ilmiah Aviasi*, *9*(1), 51-52.
- Zulfadli, M., & Surjati, I. (2018). Perancangan Antena Mikrostrip Patch Segiempat Peripheral Slit Menggunakan Metode Array 1x4 Untuk Aplikasi Radar Maritim Frekuensi 3, 2 GHZ. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, *3*(2), 173-183.