

**CO-DESIGN DUAL BAND LNA DAN BANDPASS FILTER UNTUK GROUND  
CHECK MONITORING PADA RADIO NAVIGATION AIDS**

**Muh Wildan S.T.,M.T<sup>(1)</sup> , Toni, SiP.,MSi<sup>(2)</sup>**

Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang.

Abstrak Pada penelitian ini dibahas perancangan rangkaian *co-design* dual band LNA dan BPF untuk *ground check* monitoring pada *Radio Navigation Aids* (RNA) khususnya peralatan *Very High Frequency Omni Range* (VOR) / *Instrument Landing System Localizer* (ILS LOC) yang bekerja pada band VHF 108 – 118 MHz dan *ILS Glide Slope* (GP) pada band UHF 328,6 MHz – 335,4 MHz. Rangkaian *co-design* adalah rangkaian LNA dan BPF yang digabungkan dalam sebuah rangkaian. Bandpass filter yang dirancang juga berfungsi sebagai pengganti *output matching impedance* dari LNA, sehingga memiliki keuntungan komponen pasif menjadi lebih sedikit dan dimensi dari perangkat menjadi lebih kecil. Hasil simulasi menunjukkan performa yang baik pada rangkaian dan masih memenuhi standar spesifikasi perancangan yang sama dengan rangkaian dual band LNA dan BPF yang dipasang secara *cascade* (metode konvensional). Pada rangkaian *co-design* untuk frekuensi tengah 113,0 MHz dan frekuensi 332,0 MHz berturut turut didapatkan *gain* ( $S_{21}$ ) sebesar 24.116 dB/17.213 dB, *input return loss* ( $S_{11}$ ) sebesar -24.885 dB/-30.223 dB, *noise figure* sebesar 1.283 dB/ 1.250 dB, dan *stability factor* adalah 1.159 / 1.778. Sebagai pembanding juga dirancang rangkaian dual band LNA dan BPF secara *cascade*.

Kata Kunci *Co-design, Dual Band, LNA, LC-Resonator, Radio Navigation Aids, VOR, ILS*

***CO-DESIGN DUAL BAND LNA DAN BANDPASS FILTER UNTUK GROUND CHECK MONITORING PADA RADIO NAVIGATION AIDS***

**Muh Wildan S.T.,M.T<sup>(1)</sup> , Toni, SiP.,MSi<sup>(2)</sup>**

Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang.

*Abstract*

In this research discusses the design circuit co-design dual-band LNA and BPF at Radio Navigation Aids (RNA) in particular equipment Very High Frequency Omni Range (VOR) / Instrument Landing System Localizer (ILS LOC) working at band working on band VHF 108-118 MHz and ILS Glide Slope (GP) on band UHF 328.6 MHz - 335.4 MHz are used for ground check monitoring. The co-design is a series of LNA and BPF are combined in a circuit. Bandpass filters are designed also serves as a substitute for the output matching impedance of the LNA, so it has the advantage of passive components becomes less and dimensions of the devices become smaller, but still have same performance with a dual-band LNA and BPF are designed in cascade by the conventional method. For comparison also designed a dual-band LNA circuit without dual band BPF and a dual band LNA and BPF in cascade. Simulation results show good performance in all circuits. In a co-design for the center frequency of 113.0 MHz and 332.0 MHz frequencies obtained consecutive gain ( $S_{21}$ ) 24.116 dB/17.213 dB, input return loss ( $S_{11}$ ) -24.885 dB/-30.223 dB, noise figure 1.283 dB/ 1.250 dB, stability factor 1.159 / 1.778 and VSWR 1.121 dan 1.064. While the value of the measurement results of fabrication equipment and input return loss gain slightly decreased the value of simulation results but still meet the design specifications for the VHF band, UHF band but still out of tolerance from the design specifications.

*Keywords*

*Co-design, Dual Band, LNA, LC-Resonator, Radio Navigation Aids, VOR, ILS*

## PENDAHULUAN

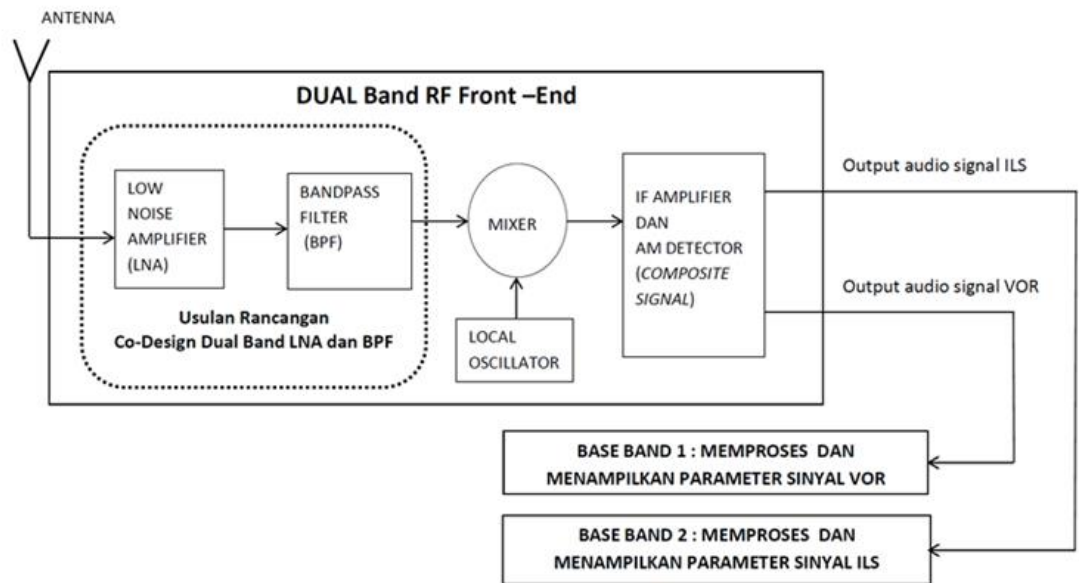
Layanan fasilitas Navigasi Penerbangan mutlak diperlukan dalam Sistem pemanduan lalu lintas udara atau *Air Traffic Control* (ATC) dengan peralatan gelombang radio rambu udara atau *Radio Navigation Aids* (RNA). Informasi navigasi udara sebagai penuntun dan petunjuk bagi penerbang / pilot harus mampu menjamin keselamatan penerbangan sejak lepas landas, selama perjalanan terbang, maupun pada saat proses pendaratan di bandar udara yang dituju. Peralatan *Radio Navigation* tersebut diantaranya adalah *Very high frequency omni radio range* (VOR) dan *Instrument Landing System* (ILS). Peralatan VOR bekerja pada band VHF dengan alokasi frekuensi range 108 MHz – 118 MHz yang berfungsi untuk memberikan informasi arah atau *azimuth bearing* (*radial*) pesawat terhadap station VOR[1] dengan cara membandingkan phase kedua sinyal *guidance* yaitu *30 Hz reference* dan *30 Hz variabel* [7].

Sedangkan ILS adalah alat bantu pendaratan pesawat yang terdiri dari 3 (tiga) komponen sub system yaitu *ILS Localizer*, *Glide Path*, dan *Marker*. *ILS Localizer* bekerja pada band VHF frekuensi range antara 108 Mhz – 111,975 Mhz untuk menentukan kelurusan pesawat terhadap *center line runway*. *ILS Glide Path* yang bekerja pada band UHF rentang frekuensi antara 328,6 Mhz – 335,4 Mhz untuk menentukan sudut (*angle*) pendaratan, sedangkan *Marker* bekerja pada *single* frekuensi yaitu 75 Mhz yang digunakan untuk menentukan jarak tetap (*fix distance*) dari *threshold runway* bandar udara. ILS bekerja dengan memodulasikan 2 sinyal *guidance tone* 90

Hz dan 150 Hz ke pemancar CSB dan SBO sehingga dapat diterima nilai dari *difference depth of modulation* (DDM) dari kedua signal tersebut pada pesawat. Bila kedua sinyal tersebut menunjukkan nilai 0 DDM yang berarti tidak terjadi perbedaan modulasi, maka dikatakan pesawat sudah tepat dalam jalur pendaratan kelurusan *center line runway* dan *slope angle* pendaratan[8].

Untuk mendukung dan menjamin keselamatan penerbangan maka wajib dilakukan pengecekan performa dari peralatan tersebut baik dengan *flight inspection* [3] maupun *ground check*[2]. Kegiatan *ground check* dapat dilakukan dengan memasang *RF field detector* yang digunakan sebagai sensor monitoring. Data parameter hasil pancaran VOR/LOC dan GP yang selanjutnya dapat diolah untuk dijadikan sebagai laporan *ground check*[2].

Pada penelitian ini diusulkan perancangan rangkaian *co-design* dual band LNA dan BPF untuk aplikasi *RF field detector* pada peralatan *Radio Navigation Aids* untuk *ground check monitoring*. Rangkaian *co-design* adalah rangkaian LNA dan BPF yang digabungkan dalam sebuah rangkaian. Sedangkan BPF yang dirancang juga berfungsi sebagai pengganti *output matching impedance* dari LNA, sehingga memiliki keuntungan komponen menjadi lebih sedikit dan dimensi dari perangkat menjadi lebih kecil, akan tetapi tetap memiliki spesifikasi parameter yang sama dengan rangkaian *dual band* LNA dan BPF yang dipasang secara *cascade* (metode konvensional). *Dual* LNA ini bekerja pada peralatan VOR/ILS LOC dengan frekuensi VHF 108 – 118 MHz



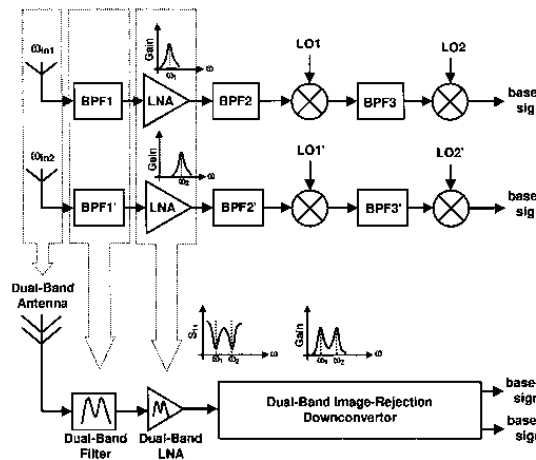
**Gambar 2.** Diagram *RF front-end* untuk aplikasi *RF field detector* pada RNA dan usulan rancangan *dual band LNA*

dan ILS GP pada frekuensi UHF 328,6 MHz – 335,4 MHz.

Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan rangkaian *co-design dual band LNA* dan BPF yang bekerja secara simultan pada dua buah teknologi secara bersamaan.

**Gambar 1.** Diagram blok *concurrent dual-band receiver* [4]

Blok diagram sistem *concurrent dual band receiver* terlihat pada Gambar 1 sementara Gambar 2 memperlihatkan diagram *RF front-end* nya serta rancangan *co-design* dual band LNA dan BPF yang akan diusulkan.



## PERANCANGAN CO-DESIGN DUAL BAND LNA DAN BPF

LNA merupakan rangkaian terdepan [4] dari perangkat penerima *RF field detector* yang memegang peranan sangat penting dalam menghasilkan sinyal *composite* yang selanjutnya dapat di demodulasikan dan dianalisa pada rangkaian *base band*. Pada *design* ini menggunakan komponen *lumped* berupa *inductor* dan kapasitor. Teknik *multiband concurrent* diterapkan dalam rancangan ini [5], sehingga dapat bekerja secara simultan pada kedua VHF/UHF untuk aplikasi *radio navigation receiver* atau *RF field detector* untuk *monitoring ground inspection*. Spesifikasi LNA yang akan diterapkan, seperti terlihat dalam tabel 1 berikut ini :

**Tabel 1** : Spesifikasi LNA

Spesifikasi	Aplikasi	
	VOR /ILS LOC	ILS GS
Range Frekuensi	108 - 118 MHz	328,6 - 335,4 MHz
Frekuensi Tengah	113,0 MHz	332,0 MHz
Bandwidth	10 MHz $\pm$ 2 MHz	
Stability	K > 1	
Gain (S <sub>21</sub> )	> 10 dB	
Input Return Loss (S <sub>11</sub> )	< -10 dB	
Noise Figure	< 2 dB	

LNA dirancang menggunakan transistor 2SC3583 yang memiliki karakteristik *small amplifier* sehingga cocok untuk LNA dan dapat dioperasikan pada band VHF dan UHF, sehingga cocok untuk diterapkan pada rancangan, disamping memiliki *gain* yang tinggi dan *noise* yang rendah. DC bias menggunakan konfigurasi *collector feedback biasing*,

dan diharapkan *amplifier* dapat bekerja pada kelas A [9][11][12]. Target bias yang direncanakan adalah pada  $V_{CE} = 2,0$  V,  $I_C = 10$  mA, dan  $V_{CC}$  sebesar 12,0 V, dan DC *gain* transistor ( $\beta$ ) = 110. Sehingga PDC (mW) = 20 mW. Pada bagian input *matching impedance* digunakan *LC-resonator* dengan teknik *multiband frequency transformation* dari *single band* ke *n-band*. Sedangkan bagian *output matching impedance* juga digunakan rangkaian *LC-resonator*.

Pada rangkaian bias DC juga ditambahkan beberapa komponen RFC dan  $C_1$  untuk bloking DC, dan komponen kapasitor  $C_{BE}$  yang dipasang paralel dengan *Base – Emite*r transistor dan juga induktor  $L_E$  yang dipasang seri pada *Emite*r transistor yang dikenal dengan topologi *Induktif Degeneration Common Emite*r (IDCE) untuk mengurangi nilai *noise* dan menjaga kestabilan rangkaian dengan nilai  $K > 1$ .

### A. Matching Impedance

*Input matching impedance* menggunakan type RC parallel [10] yang kemudian digunakan teknik *multiband frequency transformations* dari *single band* ke *n-band frequency* [5], yaitu dengan menambahkan capacitor  $C_{IN}$  secara seri pada input base transistor, sehingga nilai *imaginer* dari  $Z_{IN}$  pada frekuensi *single band matching-nya (fm)*. Nilai  $\omega m$  dapat diturunkan berdasarkan persamaan

$$\omega = \frac{\omega t}{1+a2\omega t^2}$$

(1)

$$\omega t^2 - \frac{1}{a2\omega m}\omega t + \frac{1}{a2} = 0$$

(2)

Sehingga  $\omega t$  memiliki 2 akar persamaan, Akar persamaan positif adalah low frekuensi ( $\omega 1$ ) yang dioperasikan dan

akar persamaan negatif adalah *high* frekuensi ( $\omega_2$ ). Sehingga dapat dihitung nilai  $\omega_m$  sebagai berikut :

$$\omega_1 = 2\pi \times 113,0 \times 10^6$$

$$(3) \quad \omega_2 = 2\pi \times 332,0 \times 10^6 \quad (4)$$

$$a_2 = \frac{-1}{\omega_1 \omega_2} = -6,751864781 \times 10^{-19} \quad (5)$$

$$\omega_m = \frac{1}{a_2(\omega_1 - \omega_2)} = 1076346941 \text{ rad/s}$$

$$(6)$$

Sehingga  $f_m$  dapat diketahui yaitu pada frekuensi 171,3 MHz. Dengan menambahkan nilai  $C_{IN} = 6,2$  pF, dapat ditentukan nilai induktansi ( $L_1$ ) untuk membuat *resonance* pada frekuensi tersebut, karena  $X_C = X_L$ , sehingga diperlukan *inductor* sebesar 140 nH. Dengan rumus *mapping function* diatas, maka dapat diturunkan rumus untuk menemukan nilai tranformasi frekuensi pada kedua band.

$$\omega = \frac{1}{\frac{1}{\omega t} - 6,75 \times 10^{-19} \omega t}$$

$$(7)$$

Nilai kapasitor 6,2 pF dapat ditranformasikan kedalam admitansi menjadi :

$$j6.2 \times 10^{-12} \omega = \frac{1}{\frac{1}{j6 \times 10^{-12} \omega t} + j220 \times 10^{-9} \omega t}$$

$$(8)$$

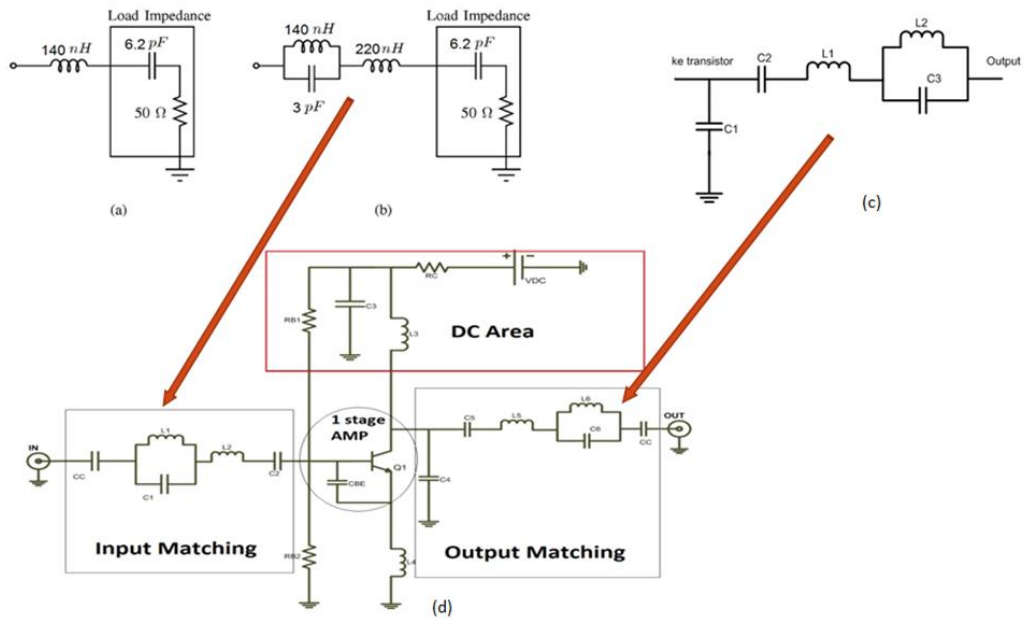
Sedangkan nilai inductor 140 nH dapat ditranformasikan kedalam impedansi menjadi :

$$j140 \times 10^{-9} \omega = \frac{1}{\frac{1}{j140 \times 10^{-9} \omega t} + j3,0 \times 10^{-12} \omega t}$$

$$(9)$$

Sehingga nilai  $L_1$  dan  $C_{IN}$  untuk single frekuensi dapat diubah menjadi konfigurasi seperti pada Gambar 3a.

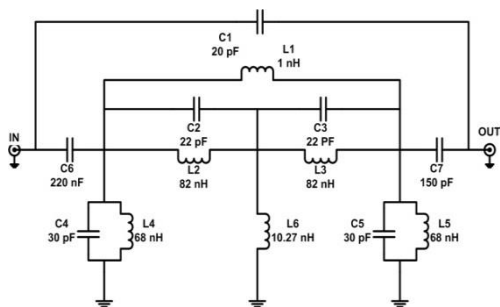
Ketika LNA difungsikan *stand alone* biasanya perlu dilakukan penyesuaian impedansi input dan output ke 50  $\Omega$  dengan menggunakan *transmission line* atau dengan komponen *lumped*. *Output matching impedance* LNA digunakan rangkaian LC yang sudah ditranformasikan ke dalam dual band seperti dalam perhitungan pada *input matching impedance* dan dapat dilihat pada gambar 3.c.



**Gambar. 3**(a) Single band input matching LNA. (b) frequency transformations dual band input matching LNA (c) Output matching Impedansi (d) Konfigurasi dual band LNA

**B. Bandpass Filter (BPF)**

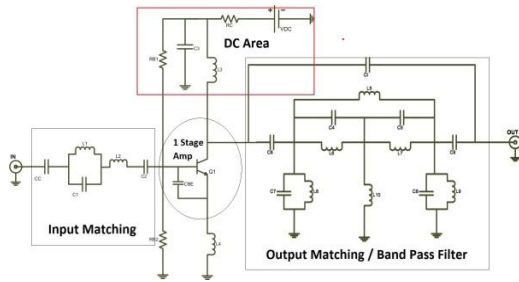
Perancangan dual bandpass filter mengacu kepada disertasi multiband filter oleh [14] yang menjadi dasar perancangan, dengan menerapkan kombinasi dari bandpass-bandstop-bandpass filter. Perancangan menggunakan model *filter butherwort*. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Rangkaian dual BPF

**C. Co-design dual band LNA dan BPF**

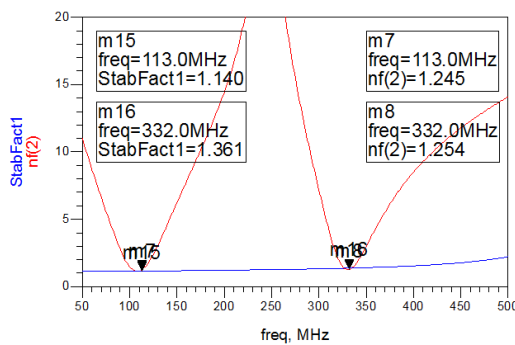
Rancangan *co-design* adalah menggabungkan *output matching* dari sebuah LNA dengan *bandpass filter*, sehingga fungsi output matching dapat digantikan dengan bandpass filter sekaligus. Tujuan *co-design* [13] adalah untuk mengurangi komponen pasif yang digunakan dan membuat ukuran fabrikasi rancangan menjadi lebih kecil akan tetapi masih memiliki performansi yang sama dengan rangkaian dual band LNA dan BPF secara *cascade*. Rangkaian lengkap dapat dilihat dalam Gambar 5.



**Gambar 5.** Rancangan *co-design* dual band LNA dan BPF yang diusulkan

### HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

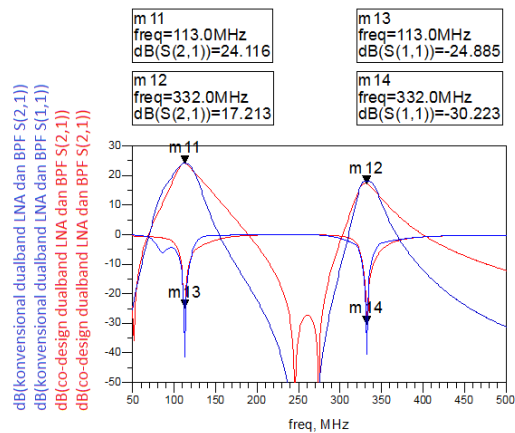
Pada bagian ini akan dibahas hasil simulasi dari *co-design dual band* LNA yang bekerja pada frekuensi tengah 113,0 MHz dan 332,0 MHz. Perhitungan nilai K pada band frekuensi 113, 0 MHz sebesar 1,140 dan pada frekuensi 332,0 MHz sebesar 1,501. Ini berarti nilai  $K > 1$  yang memenuhi persyaratan LNA yaitu *unconditional stabil*. Sedangkan hasil simulasi *noise figure* adalah 1.245 dB dan 1.254 dB untuk kedua band frekuensi tersebut, sementara hasil simulasi nya terlihat pada gambar 6.



**Gambar 6.** Hasil simulasi *stability factor* dan *noise figure*

Pada gambar 7 memperlihatkan perbandingan simulasi  $S_{21}$  dan  $S_{11}$  antara rangkaian *cascade* dual band LNA dan BPF (metode konvensional) dan

rangkaian *co-design* dual band LNA dan BPF. Hasil simulasi pada kedua rangkaian tersebut terlihat masih memenuhi spesifikasi perancangan. Hasil simulasi  $S_{11}$  untuk rangkaian *co-design* pada kedua frekuensi 113,0 MHz dan 332,0 MHz berturut turut adalah -24.885 dB dan -30.223 dB dan bandwidth yang dicapai pada batas  $S_{11} < -10$  dB sekitar 10 MHz.



**Gambar 7.** Simulasi  $S_{11}$  dan  $S_{21}$

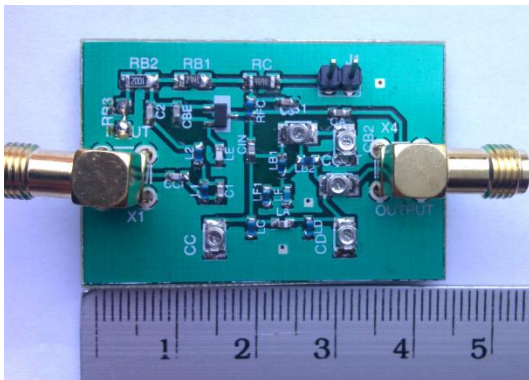
Sedangkan untuk simulasi *gain* ( $S_{21}$ ) menunjukkan pencapaian *gain* pada frekuensi 113,0 MHz sebesar 24.11 dB dan pada frekuensi 332.0 Mhz sebesar 17.213 dB.

### HASIL FABRIKASI DAN PENGUKURAN

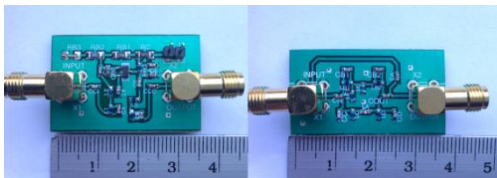
Rangkaian *co-design* maupun konvensional design dual band LNA dan BPF terlihat memiliki kinerja dan performa parameternya masih memenuhi standar perancangan. Untuk memvalidasi rancangan maka rangkaian di fabrikasi dalam PCB (*Printed Circuit Board*) *double layer* dengan substrat FR4 dan konstansta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) sebesar 4.3, tebal dielektrik 1,6 mm. Jenis saluran transmisi yang digunakan



adalah *grounded coplanar*. Komponen *lumped* yang digunakan adalah SMD (*small mounted devide*) ukuran 0603. Gambar 8 menunjukkan hasil fabrikasi rangkaian *co-design* dual band LNA dan BPF, sedangkan Gambar 9 menunjukkan hasil fabrikasi dual band LNA dan BPF yang dicetak secara terpisah (metode konvensional).

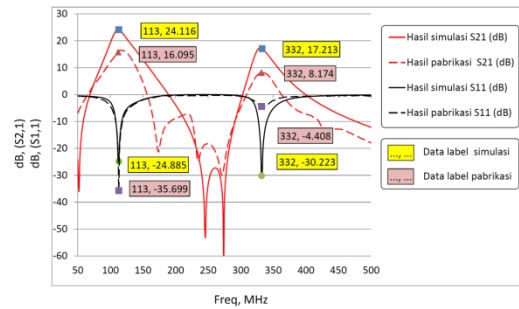


**Gambar 8.** Hasil Fabrikasi rangkaian *co-design* dual band LNA dan BPF

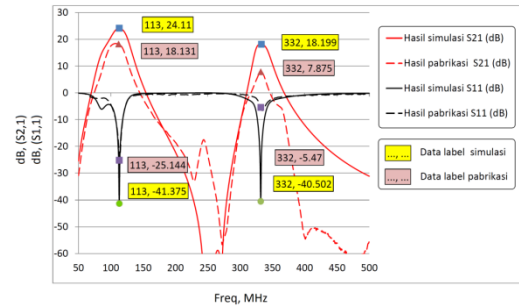


**Gambar 9.** Hasil Fabrikasi rangkaian dual band LNA (kiri) dan dual BPF (kanan)

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran  $S_{21}$  dan  $S_{11}$  rangkaian yang telah difabrikasi untuk rangkaian *co-design* dual band LNA dan BPF ditunjukkan pada Gambar 10 sedangkan untuk rangkaian dengan metode konvensional yaitu disusun secara *cascade* antara dual band LNA dan dual BPF terlihat pada Gambar 11.



**Gambar 10.** Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran rangkaian *co-design* dual band LNA dan BPF



**Gambar 11.** Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran rangkaian dual band LNA dan BPF dengan metode konvensional

Pada hasil pengukuran terlihat bahwa pada band VHF masih memenuhi standar parameter perancangan, namun pada band kedua UHF nilai *gain* mengalami penurunan dan *input return loss* juga mengalami ketidaksesuaian dengan hasil simulasi. Ini disebabkan karena kurang presisinya hasil pabrikan, penyolderan komponen SMD yang kurang baik, dan ketidakhomogenan substrat (FR4), nilai toleransi dan kualitas komponen (faktor Q) dari komponen SMD yang digunakan, serta faktor kemungkinan terjadinya *skin effect* pada jalur pcb yang membuat nilai *parasitic* resistansi, induktansi, dan

kapasitansi sehingga akan mempengaruhi nilai matching impedansi pada rangkaian.

*co-design* dual band LNA dan BPF memiliki kelebihan *noise figure* yang kecil, *input return loss* yang kecil. Hasil perbandingannya dapat terlihat seperti Tabel 2 .

Sementara itu, jika dibandingkan dengan penelitian yang lain rangkaian

Tabel 2. Perbandingan hasil penelitian

Ref	Fc (GHz)	S <sub>11</sub> (dB)	S <sub>21</sub> (dB)	NF (dB)
[4]	2.45	-25	14	2.3
	5.25	-15	15.5	4.5
[6]	1.8	-17	30	2.1
	5.2	-19	20	1.7
[10]	0.9	-20.5	16.8	1.98
	2.4	-13.2	31	1.92
[13]	1.57	-	18.6	1.98
	2.4	-	15.2	1.95
Proposal	0.113	-24.88	24.11	1.24
	0.332	-30.22	17.21	1.25

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa kinerja rangkaian *co-design* dual band LNA dan BPF pada frekuensi tengah 113,0 MHz dan 332,0 Mhz untuk aplikasi *RF field detector* peralatan Radio Navigation Aids yang digunakan untuk monitoring *ground check* didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dirancang rangkaian *co-design* dual band LNA dan BPF secara simultan menggunakan komponen *lumped* berbasis SMD dengan teknik *transformation frequency* sebagai *matching network* sekaligus pembentuk respon *dual band* pada frekuensi kerja 113,0 MHz dan 332,0 MHz. Kemudian telah disimulasikan, dipabrikasi dan diukur menggunakan *network analyzer*, serta dibandingkan kinerja dan performa parameternya dengan rangkaian dual band LNA serta rangkaian dual band LNA dan BPF yang dipasang secara *cascade*.

2. Hasil simulasi menunjukkan hasil performansi yang baik pada frekuensi kerja 113,0 Mhz dan 332.0 Mhz. Hasil Simulasi *noise figure* adalah 1.245 dB dan 1.254 dB. Hal ini berarti transistor cocok digunakan sebagai rancangan LNA. Sedangkan *gain* ( $S_{21}$ ) = 24.11 dB/ 17.213 dB, *input return loss* ( $S_{11}$ ) = -24.885 dB/ -30.223 dB, serta pencapaian bandwidth pada batas ( $S_{11}$ ) <-10 dB adalah  $\pm 10$  MHz.

3. Rancangan *co-design* dual band LNA dan BPF ditinjau dari ukuran pabrikasinya memiliki keuntungan dimensi yang lebih kecil dan

penggunaan komponen pasif yang lebih sedikit dibandingkan dengan rangkaian dual band LNA dan BPF yang dipasang secara *cascade* (metode konvensional), namun masih tetap memiliki performa parameter yang sama.

## REFERENSI

- [1] ICAO, Annex 10, Aeronautical Telecommunication, Vol 1, Chapter 3, "Specifications for radio navigation Aids", , 1996
- [2] ICAO, Doc 8071, "Manual on testing of radio navigation aids", Vol 1, 2000
- [3] FAA, Doc 8200.1B, "United States Standard Flight Inspection Manual", January 2003
- [4] Hossein Hashemi, Ali Hajimiri, Concurrent Multiband Low Noise Amplifiers – Theory, Design and Applications, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2002
- [5] Nagarjuna Nallam, Shouri Chatterjee, "Multi-Band Frequency Transformation, Matching Network and Amplifiers", IEEE Transaction On Circuit And Systems, Vol. 60 No.6, June, 2013
- [6] Z.Y Lu, H.Y.Xie, W.R.Zhang, dkk., "Design of Dual Band SiGe HBT LNA with Current Reuse Topology", Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC), 2011 International Conference of, 2011
- [7] Thales, "Technical Manual Doppler VHF Omnidirectional Radio Range", 2004
- [8] Leif W. Nyback, "ILS Principles and Equipment Theory, Park Air Systems, 2002
- [9] U.L Rohde dan D.P Newkirk, "RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications", John Willey & Sons, Inc. 2000
- [10] Sambit Datta, Kunal Datta, Ashudeb Dutta, Tarun kanti Bhattacharyya, "A Concurrent Low-Area dual band 0.9/2.4 GHz LNA in 0.13  $\mu\text{m}$  RF CMOS Technology for Multi-Band Wireless Receiver", Circuits and Systems (APCCAS), IEEE Asia Pacific Conference on, 2010
- [11] Rowan Gilmore, Les Besser, Practical RF Circuit Design for Modern Wireless System Vol. II, Artech House, 2003
- [12] Hafez Fouad, "An RF Cascode BJT-LNA with Shunt-series Input Matching", URSI Twentieth national Radio Science Conference, 2003
- [13] Runbo Ma, Wenmei Zhang, Guorui Han, Li Li, Xinwei Chen, Liping Han, "Co-design method for dual band low noise amplifier and bandpass filter", International Journal of Electronics, Taylor and Francis, Vol.99, No.4, April 2012
- [14] Himanshu Joshi, "Multi-band RF Bandpass Filter Design", A Disertation of Purdue University West Lafayette, Indiana May 2010