

Perancangan *Multiband Low Noise Amplifier (LNA)* menggunakan Metode *Multisection Impedance Transformer (MIT)* Untuk Aplikasi GSM, WCDMA, dan LTE

Teguh Firmansyah¹, Gunawan Wibisono²

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

²Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

¹teguh.firmansyah1@gmail.com

Abstrak – Salah satu bagian multiband *transceivers* adalah *low noise amplifier (LNA)* yang mampu beroperasi pada beberapa frekuensi yang berbeda dengan nilai *return loss (RL)*, *insertion loss (IL)*, *stability (K)*, *noise figure (NF)*, dan *VSWR* yang baik pada semua frekuensi. Pada penelitian ini diusulkan penggunaan *multisection impedance transformer (MIT)* sebagai impedance matching, penggunaan MIT memiliki keunggulan diantaranya *stability* yang lebih tinggi dibandingkan dengan komponen *lumped* juga memiliki nilai noise yang rendah karena nilai *Q* faktor yang tinggi. Selain itu, lebih mudah dalam proses pabrikan dan pengukuran. Tujuan perancangan ini untuk mendapatkan LNA multiband pada 0,9 GHz untuk aplikasi GSM, 1,8 GHz untuk WCDMA, dan 2,6 GHz untuk LTE. Dari hasil perancangan dan simulasi menggunakan advance desain system (ADS), kinerja LNA frekuensi 0,95 GHz untuk GSM memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -23,541$ dB, *insertion loss* $S_{21} = 18,911$ dB, *stability* $K = 1,462$, *noise figure* $NF = 1,475$ dB, *VSWR* = 1,143 dB, dan *FoM* sebesar 8,38. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 1,85 GHz untuk WCDMA nilai $S_{11} = -23,771$ dB, $S_{21} = 12,858$ dB, $K = 1,997$, $NF = 1,988$ dB, *VSWR* = 1,139 dB, dan *FoM* sebesar 2,616. Kinerja LNA pada frekuensi 2,65 GHz untuk LTE nilai $S_{11} = -23,521$ dB, $S_{21} = 10,180$ dB, $K = 1,849$, $NF = 2,776$ dB, *VSWR* = 1,143 dB, dan *FoM* sebesar 1,152. Terlihat bahwa kinerja LNA multiband telah memenuhi spesifikasi teknis yang diharapkan.

Kata kunci : *Multiband LNA, MIT, Return Loss, Insertion Loss, Noise Figure*

Abstract – *Sub- systems multiband transceivers are low noise amplifier (LNA) capable of operating at several different frequencies with return loss (RL) , insertion loss (IL) , stability (K) , noise figure (NF) , and good VSWR at all frequency . In this study, the proposed use of multisection impedance transformer (MIT) as impedance matching , the use of MIT has advantages including higher stability compared with lumped components also have a low noise value as the value of a high Q factor . In addition , it is easier in the manufacturing process and measurement . The purpose of this design for multiband LNA gain at 0.9 GHz for the application of GSM , WCDMA 1.8 GHz , and 2.6 GHz for LTE . From the results of the design and simulation using advanced design system (ADS) , the performance of frequency 0.95 GHz LNA for GSM have return loss $S_{11} = -23.541$ dB , insertion loss $S_{21} = 18.911$ dB , stability $K = 1.462$, the noise figure $NF = 1.475$ dB , *VSWR* = 1.143 dB , and the *FOM* of 8.38 . Meanwhile , the performance at a frequency of 1.85 GHz LNA for WCDMA value = -23.771 dB S_{11} , $S_{21} = 12.858$ dB , $K = 1.997$, $NF = 1.988$ dB , *VSWR* = 1.139 dB , and the *FOM* of 2.616 . LNA performance at a frequency of 2.65 GHz for LTE value = -23.521 dB S_{11} , $S_{21} = 10.180$ dB , $K = 1.849$, $NF = 2.776$ dB , *VSWR* = 1.143 dB , and the *FOM* of 1.152 . It is seen that the performance of a multiband LNA meets the technical specifications are expected*

Keywords : *Multiband LNA, MIT, Return Loss, Insertion Loss, Noise Figure*

I. PENDAHULUAN

Sebuah *transceivers* yang mampu beroperasi pada multiband dengan multistandar diperlukan untuk meningkatkan efisiensi sekaligus mendukung perkembangan berbagai jenis standar komunikasi nirkabel seperti global system for mobile communications (GSM), wide-band code division multiple access (WCDMA), dan long term evolution (LTE) [1-4]. Salah satu bagian multiband *transceivers* adalah *low noise amplifier (LNA)* yang mampu beroperasi pada beberapa frekuensi yang berbeda dengan nilai *return loss*, *insertion loss*, *noise figure (NF)*,

stability, dan *VSWR* yang baik pada semua frekuensi [5-9].

Penelitian ini bertujuan untuk membuat perancangan *multiband LNA* untuk aplikasi GSM, WCDMA, dan LTE. Pada sisi impedance matching digunakan MIT yang diharapkan menghasilkan *noise figure* yang kecil dan *stability* yang tinggi jika dibandingkan dengan *multiband matching* yang menggunakan komponen *lumped*. Selain itu, dasar teknologi yang digunakan relatif lebih sederhana yang berbasis *microstrip PCB* sehingga memudahkan untuk pabrikan dan pengukuran.

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan MIT [10] dimana pada penelitian ini mampu dihasilkan *multiband* LNA. Semetara itu perbedaan dengan penelitian [11] diantaranya memiliki konsumsi power yang rendah yaitu sebesar 5mW dengan menggunakan transistor NE321S01 yang berbasis teknologi *GaAs FET* yang mampu stabil pada frekuensi tinggi. Untuk pabrikan maka dipergunakan *microstrip* FR4 yang memiliki nilai $\epsilon = 4,3$ dengan $h = 1,6$ mm dan $\delta = 0.0265$.

Tujuan perancangan LNA adalah untuk mendapatkan frekuensi multiband pada 0,9 GHz untuk aplikasi GSM [11], 1,8 GHz untuk aplikasi WCDMA [11] dan 2,6 GHz untuk aplikasi LTE [11]. Dengan nilai $S_{11} < -10$ dB [11], $VSWR < 2$ [11], $S_{21} > 10$ dB [11] dan $NF < 3$ dB [11] pada semua frekuensi kerja. Perancangan LNA disimulasikan dengan *Advance Design System (ADS)*

II. LANDASAN TEORI

GSM, WCDMA), dan LTE merupakan layanan komunikasi bergerak tanpa kabel (*wireless*) yang tersedia saat ini. Perkembangan teknologi nirkabel terbagi ke dalam 3 fase. Fase 1 dimulai pada tahun 1990 dengan adanya sistem GSM pertama, yaitu GSM 900 yang beroperasi pada frekuensi 900 MHz. Setelah melalui proses pengembangan dan adaptasi dari sistem yang pertama, maka pada tahun 1993 dikeluarkan fase 2, yang merupakan kelanjutan dari teknologi WCDMA 1800 yang bekerja pada frekuensi 1,8 GHz.

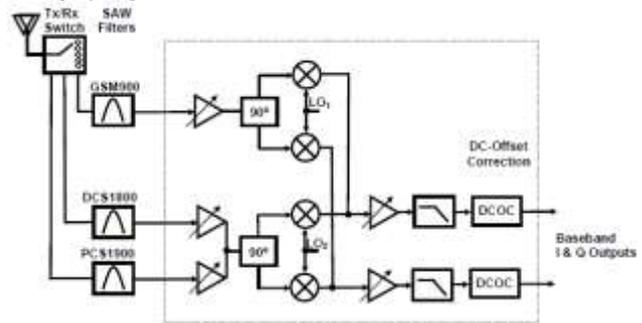
Pada tahun 2009 mulai dikembangkan teknologi LTE untuk memenuhi permintaan terhadap komunikasi pita lebar dengan mobilitas yang tinggi. Di Indonesia, teknologi LTE beroperasi pada frekuensi 2,6 GHz. Dengan adanya berbagai macam teknologi tersebut, secara otomatis standar yang dipergunakan pun akan berbeda pula. Sehingga diperlukan tiga buah terminal yang memiliki spesifikasi yang berbeda apabila akan mengakses ketiga sistem tersebut.

Gelombang elektromagnetik digunakan untuk transmisi nirkabel untuk berbagai aplikasi. Mayoritas *transceiver* radio dirancang untuk tujuan tertentu, misalnya TV mengubah gelombang elektromagnetik yang diterima ke dalam bentuk Gambar dan suara, sementara telepon seluler menggunakan gelombang ini untuk suara dan komunikasi data. Seringkali perangkat nirkabel memiliki berbagai mode operasi. Multistandar telepon seluler merupakan ilustrasi dari sebuah radio multiband.

Wideband radio *transceiver* menjadi jawaban untuk komunikasi nirkabel yang dapat beroperasi pada multistandar. Namun wideband radio ini memiliki kelemahan berupa interferensinya yang tinggi, karena sistem bekerja pada frekuensi yang lebar. Sehingga diperlukan filter yang baik untuk meminimalisasi interferensi tersebut.

Untuk meningkatkan efisiensi sekaligus menurunkan interferensi dan mendukung perkembangan berbagai jenis standar diusulkan untuk digunakan switch *multiband transceiver* seperti Gambar 1. sehingga tidak terjadi interferensi. Namun penggunaan *multiband switching transceiver* ini mengakibatkan *transceiver* hanya mampu bekerja secara optimal pada satu frekuensi

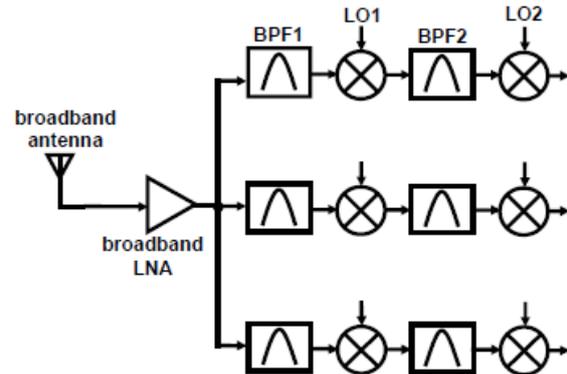
pada satu waktu dan diperlukan dukungan *switching* yang memiliki nilai *time delay* yang kecil agar memiliki kinerja yang baik.



Gambar 1. Multiband switch receiver

Concurrent Multiband Transceiver

Pada saat ini telah dikembangkan *transceiver* yang mampu bekerja secara simultan pada beberapa frekuensi yang berbeda dengan nilai interferensi yang kecil dengan menggunakan teknik *concurrent multiband*. Teknik *concurrent multiband* didefinisikan sebagai teknik yang mampu beroperasi pada beberapa frekuensi dalam satu waktu [12] dengan kinerja yang baik pada semua frekuensi seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Multiband concurrent receiver

Penggunaan teknik *concurrent multiband* mampu menghasilkan *transceiver* pada beberapa frekuensi yang berbeda dengan nilai return loss, power gain, NF, dan VSWR yang baik pada semua frekuensi pada waktu yang sama [13-14]. Beberapa keuntungan dari *concurrent multiband* antara lain :

a. Efisiensi Fungsi

Teknik *concurrent* dibuat untuk memenuhi beragam permintaan standar komunikasi. Hal ini dikarenakan mampu bekerja secara efisien pada beberapa frekuensi dengan kinerja yang baik pada setiap nilainya. Dengan menggunakan teknik *concurrent*, seseorang dapat berbicara sekaligus mengunduh data dari ponselnya dalam waktu yang bersamaan.

b. High Data Rate

Akses yang simultan terhadap beberapa frekuensi akan mengefektifkan *bandwidth* dari sistem. Sehingga penggunaan kanal dapat dilakukan secara simultan yang berakibat pada peningkatan nilai *data rate*.

c. Ketahanan Sistem

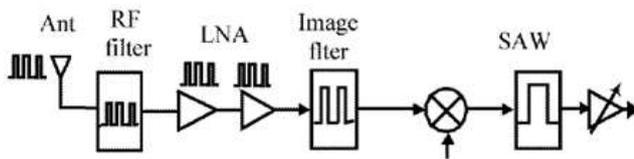
Penggunaan multiband frekuensi dengan teknik *concurrent* tidak hanya meningkatkan nilai *data rate* tetapi juga meningkatkan ketahanan sistem terhadap adanya *fading* pada kanal. Apabila salah satu kanal tidak bekerja optimal maka kanal yang lain akan dioptimalkan.

d. Peningkatan Kinerja

Terdapat beberapa jenis radar yang bekerja pada multiple frekuensi, karena penggunaan berbagai frekuensi tersebut dapat meningkatkan nilai informasi yang didapatkan.

Concurrent Multiband LNA

Salah satu bagian multiband receiver adalah LNA yang mampu beroperasi pada beberapa frekuensi yang berbeda dengan nilai *return loss*, *power gain*, *noise figure* (NF), dan VSWR yang baik pada semua frekuensi[2] seperti pada Gambar 3 terlihat bahwa sistem itu memiliki kinerja multiband terlihat dari puncaknya yang memiliki tiga buah. Teknik *concurrent multiband* digunakan untuk menghasilkan LNA yang mampu bekerja secara simultan pada beberapa frekuensi yang berbeda dengan nilai interferensi yang kecil. Penggunaan teknik *concurrent multiband* mampu menghasilkan LNA pada beberapa frekuensi yang berbeda dengan nilai *return loss*, *power gain*, NF, dan VSWR yang baik pada semua frekuensi pada waktu yang sama.



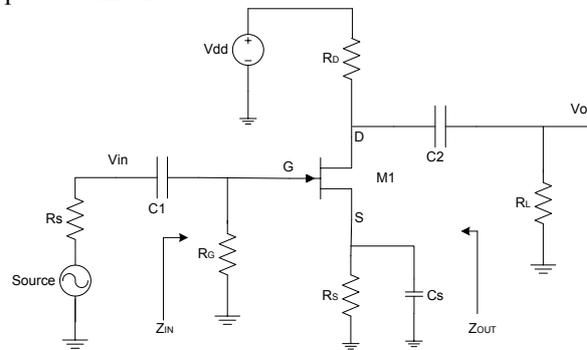
Gambar 3. Multiband concurrent receiver

Sinyal masuk melalui antenna, kemudian difilter, dan selanjutnya masuk ke dalam LNA yang memiliki fungsi sebagai penguat sinyal jika sinyal RF yang diterima sangat lemah. Selain itu pula, LNA berfungsi memperkecil daya *noise* sinyal yang diterima. Selanjutnya, *Mixer* digunakan untuk mengubah sinyal RF menjadi sinyal IF dengan mengurangi sinyal RF tersebut dengan sinyal LO. Sistem ini dinamakan proses *down-converter*. Pada *local oscillator* (LO) diperlukan untuk membangkitkan sinyal LO dengan frekuensi mendekati sinyal RF sehingga akan diperoleh sisa hasil pengurangan frekuensi yang relatif lebih rendah dari sinyal RF dan sinyal LO. Selanjutnya, untuk menjaga gain agar tetap stabil sesuai dengan yang diharapkan, maka diperlukan penguat IF dengan *gain* yang tinggi agar mencapai tingkat daya sinyal sehingga informasi *baseband* dapat diperoleh dengan mudah. Tipe penerima ini diketahui sebagai penerima *superheterodyne* karena penerima ini menggunakan *frequency conversion*, mengubah frekuensi pembawa RF yang tinggi secara relatif menjadi frekuensi IF rendah sebelum dilakukan demodulasi pada akhirnya.

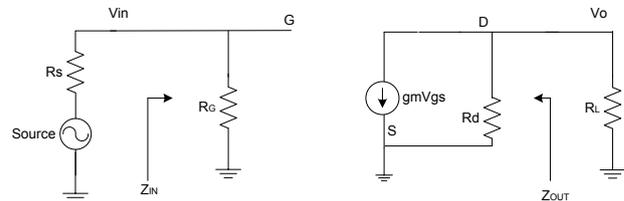
Hal penting dalam penerima *superheterodyne* adalah *image frequency*, karena beberapa sinyal yang diterima di dalam pita akan dikuatkan dengan menggunakan tingkat-tingkat dalam penerima IF yang selanjutnya dapat dikirimkan pada demodulator dan sebagian dari *output* berupa interferensi. *Image frequency* hanya dapat tereliminasi pada ujung-ujung dari penerima sebelum *mixer down-converter*, maka diperlukan suatu filter yang dapat menahan bercampurnya frekuensi dari *input mixer* pada penerima, yang disebut *filter image*.

Pada sub bab ini akan diberikan penjelasan berupa analisa AC pada bias FET. Nilai gain dapat dihitung dengan menggunakan analisa AC.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4 dimana nilai $C_S \neq 0$ maka tegangan sinyal AC pada titik S akan bernilai nol. Karena kapasitor bekerja sebagai rangkaian terbuka apabila dilewati sinyal AC pada frekuensi tinggi. Rangkaian equivalent pada Gambar 4 saat $C_S \neq 0$ terlihat pada Gambar 5.

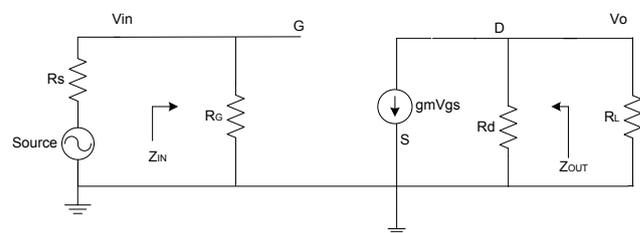


Gambar 4. Analisa AC saat $C_S \neq 0$



Gambar 5. Rangkaian pengganti saat $C_S \neq 0$

Setelah disederhanakan maka akan terlihat seperti Gambar 6.



Gambar 6. Penyederhanaan rangkaian pengganti saat $C_S \neq 0$

Menurut [13] nilai impedansi input dan impedansi outputnya yang akan dihasilkan dari rangkaian bias FET dengan AC analisa ini yaitu :

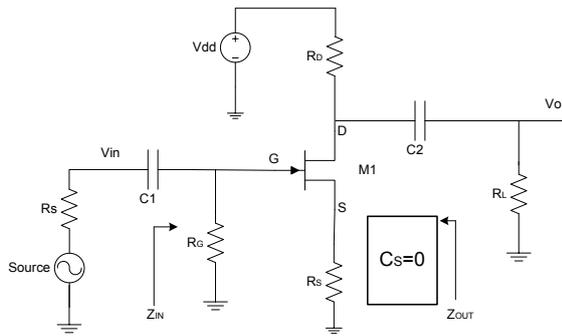
$$Z_i = R_G \tag{1}$$

$$Z_o \text{ mendekati nilai } R_D \tag{1}$$

Sementara itu nilai gain yang dihasilkan diberikan oleh :

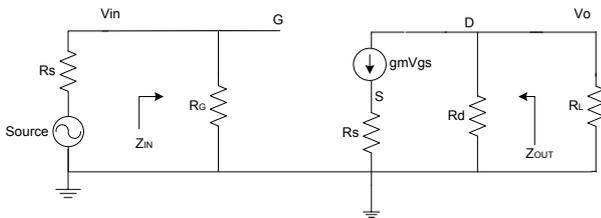
$$A_v = -g_m R_D \tag{2}$$

Pada Gambar 7, apabila nilai $C_S = 0$ maka tegangan sinyal AC pada titik S tidak bernilai nol. Sehingga resistor akan berpengaruh terhadap pembebanan sinyal AC. Rangkaian *equivalent* pada Gambar 8 saat $C_S = 0$ terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Analisa AC saat $C_S = 0$

Nilai input impedance diberikan oleh (3) dibawah ini :
 $Z_i = R_G$ (3)



Gambar 9. Rangkaian pengganti saat $C_S = 0$

Sementara nilai *output impedance* memenuhi diberikan oleh.

$$Z_o = \left. \frac{V_o}{I_o} \right|_{V_i=0}$$

dengan menerapkan hukum Kirchhoff pada arus, maka :

$$I_o + I_D = g_m V_{GS} \quad (4)$$

Dengan nilai $V_{GS} = -(I_o + I_D)R_S$ maka :

$$\begin{aligned} I_o + I_D &= g_m V_{GS} \\ &= -g_m (I_o + I_D)R_S \\ &= -g_m I_o R_S - g_m I_D R_S \end{aligned}$$

Sehingga nilai :

$$\begin{aligned} I_o + g_m I_o R_S &= -I_D - g_m I_D R_S \\ I_o (1 + g_m R_S) &= -I_D (1 + g_m R_S) \\ I_o &= -I_D \end{aligned}$$

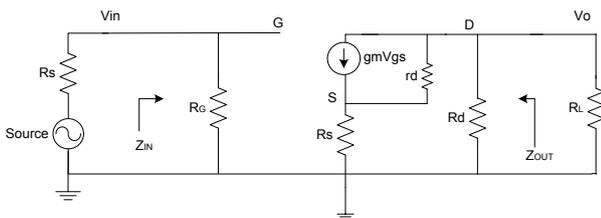
Dengan nilai $g_m V_{GS} = 0$ maka ;

$$\begin{aligned} V_o &= -I_D R_D \\ &= -(-I_o)R_D \\ &= I_o R_D \end{aligned}$$

Sehingga nilai

$$\begin{aligned} Z_o &= \left. \frac{V_o}{I_o} \right|_{V_i=0} \\ &= R_D \end{aligned} \quad (5)$$

Jika nilai r_d disertakan, maka rangkaian ekuivalennya akan seperti pada Gambar 9. seperti dibawah ini :



Gambar 9 Rangkaian pengganti saat $C_S = 0$ dan nilai r_d disertakan

Sementara nilai *output impedance* diberikan oleh dibawah ini :

$$Z_o = \left. \frac{V_o}{I_o} \right|_{V_i=0} = -\frac{I_D R_o}{I_o}$$

dengan menerapkan hukum Kirchhoff pada arus, maka diberikan oleh berikut ini :

$$I_o = g_m V_{GS} + I_{r_d} - I_D \quad (6)$$

Dengan nilai $V_{r_d} = V_o + V_{GS}$ dan nilai

$$I_{r_d} = \frac{V_o + V_{GS}}{r_d}$$

Substitusikan ke pers. (7), maka akan menghasilkan :

$$\begin{aligned} I_o &= g_m V_{GS} + I_{r_d} - I_D \\ &= g_m V_{GS} + \frac{V_o + V_{GS}}{r_d} - I_D \end{aligned}$$

$$= \left(g_m + \frac{1}{r_d} \right) V_{GS} - \frac{I_D R_D}{r_d} - I_D$$

Dengan nilai $V_o = -I_D R_D$ dan nilai $V_{GS} = -(I_o + I_D)R_S$, sehingga :

$$I_o = -\left(g_m + \frac{1}{r_d} \right) (I_o + I_D)R_S - \frac{I_D R_D}{r_d} - I_D$$

Dengan mengoperasikan ke dua ruas, maka nilai :

$$I_o \left(1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} \right) = -I_D \left(1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d} \right)$$

Sehingga nilai I_o diberikan oleh :

$$\begin{aligned} I_o &= \frac{-I_D \left(1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d} \right)}{1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d}} \end{aligned} \quad (7)$$

Dari nilai tersebut maka diperoleh nilai Z_o sebesar :

$$Z_o = \left. \frac{V_o}{I_o} \right|_{V_i=0} = \frac{-I_D R_D}{-I_D \left(1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d} \right)} = \frac{R_D}{1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d}}$$

$$= \left(\frac{1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d}}{1 + g_m R_S + \frac{R_S}{r_d} + \frac{R_D}{r_d}} \right) R_D \quad (8)$$

Sementara itu, untuk mencari nilai A_V rangkaian pada Gambar 2.13 maka gunakan hukum Kirchhoff tegangan, seperti :

$$V_i - V_{GS} - V_{RS} = 0 \text{ sehingga nilai}$$

$$V_{GS} = V_i - I_D R_S$$

Tegangan yang melewati r_d diberikan oleh $V_{r_d} = V_o - V_{RS}$ dengan nilai arus padar_d diberikan oleh :

$$I_{r_d} = \frac{V_{r_d}}{r_d} = \frac{V_o - V_{RS}}{r_d}$$

Dengan mempergunakan hukum Kirchhoff arus, maka :

$$\begin{aligned} I_D &= g_m V_{GS} + \frac{V_o - V_{RS}}{r_d} \\ &= g_m (V_i - I_D R_S) + \frac{(-I_D R_D) + (I_D R_S)}{r_d} \end{aligned}$$

Sehingga ;

$$I_D \left(1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d} \right) = g_m V_i$$

$$I_D = \frac{g_m V_i}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}}$$

Sehingga tegangan *outputnya* diberikan oleh.

$$V_o = -I_D R_D$$

$$= - \left(\frac{g_m V_i}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}} \right) R_D$$

Nilai penguatannya diberikan oleh.

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = - \left(\frac{g_m}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}} \right) R_D \quad (9)$$

Sementara itu, nilai penguatan arusnya diberikan oleh (2.20) sebagai berikut :

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_o}{I_S} = -A_V \frac{Z_i}{R_L}$$

$$= \left(\frac{g_m}{1 + g_m R_S + \frac{R_D + R_S}{r_d}} \right) \frac{R_D Z_i}{R_L} \quad (10)$$

Standing Wave Ratio (SWR)

SWR ini terjadi apabila impedansi saluran transmisi tidak sesuai (*matching*) dengan impedansi pada beban. Karena ketidaksesuaian inilah akan timbul daya yang dipantulkan (*reflected power*) atau juga biasa disebut *reflected wave* dengan amplitude V_r . Sedangkan gelombang yang diteruskan disebut dengan *forward wave* dengan amplitude V_f . Perbandingan antara amplitudo yang dipantulkan dengan yang diteruskan disebut dengan koefisien refleksi yang secara matematik dapat dinyatakan dengan [14] :

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_f} \quad (11)$$

Γ merupakan bilangan kompleks yang menjelaskan nilai magnitude dan pergeseran sudut dari pemantulan (*reflected*). Untuk menghitung VSWR yang dipergunakan adalah nilai magnitude dari koefisien refleksi yang didenotasikan dengan ρ . Sehingga $\rho = |\Gamma|$.

Pada saat terjadi pemantulan maka penjumlahan amplitudo dari tegangan yang diteruskan dengan yang dipantulkan akan menghasilkan tegangan maksimum. Sedangkan pengurangannya akan menghasilkan tegangan minimum. Berikut pers. matematisnya [14] :

$$V_{max} = V_f + V_r = V_f + \rho V_f = V_f(1 + \rho) \quad (12)$$

$$V_{min} = V_f - V_r = V_f - \rho V_f = V_f(1 - \rho) \quad (13)$$

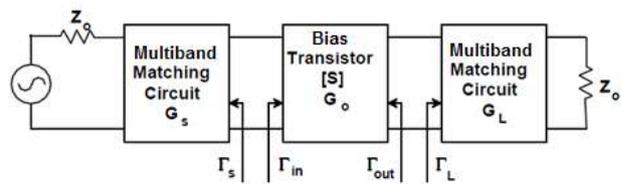
Dari pers.2.99 – 2.98, maka pers. VSWRnya adalah [28]

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad (14)$$

Rentang nilai Γ selalu pada 0 – 1, sedangkan VSWR terletak pada $\geq +1$. Rentang nilai Γ selalu pada 0 – 1, sedangkan VSWR terletak pada $\geq +1$. Standar untuk nilai VSWR adalah 1 – 2 dimana untuk nilai 1 menandakan sinyal tidak terjadi pemantulan atau refleksi ($\rho = 0$). Karena standar batas atas VSWR = 2.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Secara lengkap blok diagram multiband LNA ditunjukkan pada Gambar 10 dibawah ini.



Gambar 11. Blok diagram multiband LNA.

Dari blok diagram multiband LNA, tahapan perancangan multiband LNA sebagai berikut :

- a. Bias transistor.

Perancangan bias transistor merupakan hal pertama kali yang dilakukan dalam mendesain LNA. Pada Setelah dibias maka transistor tersebut diperiksa kestabilannya.
- b. Matching

Tahapan selanjutnya yaitu perancangan impedance matching yang menggunakan mulisection impedance matching.
- c. Evaluasi

Tahapan ini dievaluasi kinerjanya, yang meliputi insertion loss, return loss, noise dan VSWR.

Pada rancangan LNA ini digunakan transistor NE321S01. Transistor ini merupakan jenis transistor Super Low Noise Hetero Junction FET yang dirancang untuk bekerja pada frekuensi tinggi. Alasan mengapa menggunakan transistor ini adalah karena transistor ini memiliki fitur-fitur sebagai berikut :

- i. Super Low Noise : 0.35 dB pada 12 GHz
- ii. High gain = 13.5 dB pada 12 GHz

NE321S01 adalah transistor dengan Teknologi pseudomorphic Hetero-Junction FET junction antara Si-doped AlGaAs dan undoped InGaAs sehingga menciptakan karakteristik yang sangat tinggi dalam hal mobilitas elektronnya. Karakteristik eletriknya terlihat pada tabel 3.2. Secara lebih lengkap pada Lampiran 1.

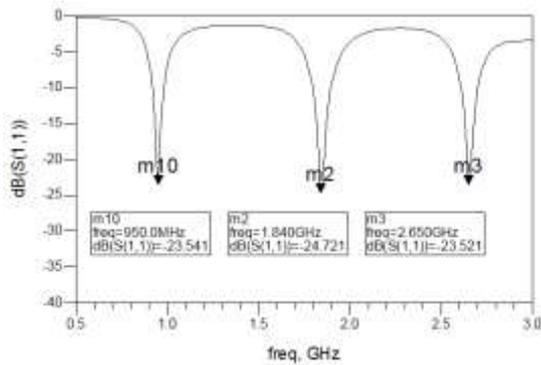
Tabel 1. Karakteristik transistor NE321S01

PART NUMBER PACKAGE OUTLINE		NE321S01 S01			
SYMBOLS	PARAMETERS AND CONDITIONS	UNITS	MIN	TYP	MAX
Ga	Associated Gain ¹ , V _{DS} = 2 V, I _D = 10 mA, f = 12 GHz	dB	12	13.5	
NF	Noise Figure ¹ , V _{DS} = 2 V, I _D = 10 mA, f = 12 GHz	dB		0.35	0.45
gm	Transconductance, V _{DS} = 2 V, I _D = 10 mA	mS	40	55	
I _{DS}	Saturated Drain Current, V _{DS} = 2 V, V _{GS} = 0 V	mA	15	40	75
V _{CS}	Gate to Source Cutoff Voltage, V _{DS} = 2 V, I _D = 100 μA	V	-0.2	-0.7	-2.0
I _{DS0}	Gate to Source Leakage Current, V _{DS} = -3 V	μA		0.5	15

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

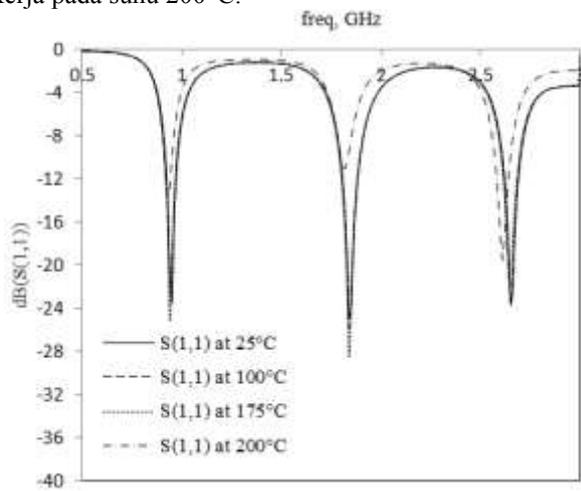
Hasil simulasi return loss S₁₁ rangkaian multiband LNA tampak pada Gambar 12. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangkaian multiband LNA mampu beroperasi pada tiga frekuensi yang berbeda.

Nilai return loss yang kecil mengakibatkan transmissi power ke LNA dari sumber berjalan lebih optimal. Dari hasil simulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa LNA dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan.



Gambar 12 Hasil return loss S_{11}

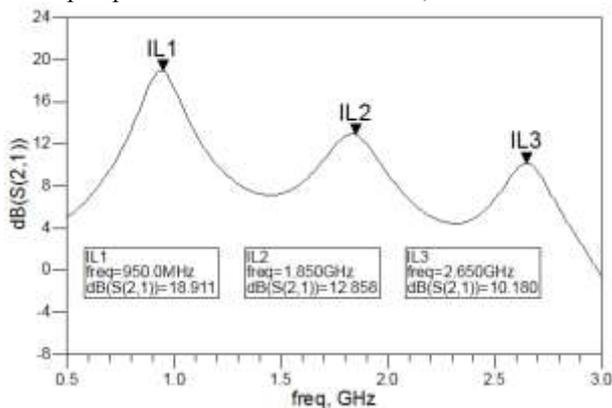
Pada Gambar 12 menampilkan hasil simulasi *return loss* terhadap perubahan suhu, pada Gambar tersebut terlihat bahwa nilai S_{11} tidak mengalami perubahan yang signifikan pada suhu 25°C, 100°C, dan 175°C. Sementara itu pergeseran frekuensi kerja terjadi saat LNA tersebut bekerja pada suhu 200°C.



Gambar 13 Hasil return loss S_{11} terhadap perubahan suhu

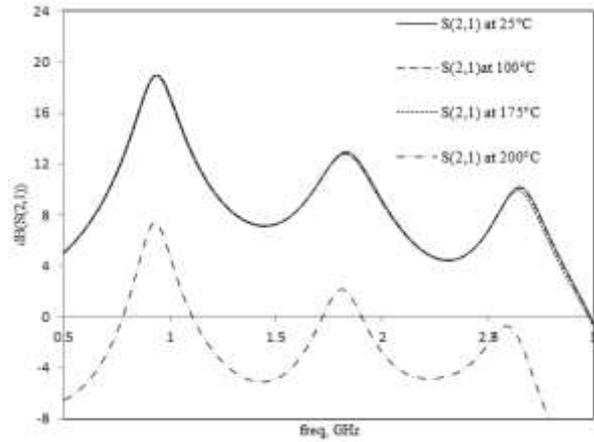
Simulasi Insertion Loss S_{21}

Hasil simulasi *insertion loss* S_{21} rangkaian multiband LNA tampak pada Gambar 14 dibawah ini,



Gambar 14 Hasil *insertion loss* S_{21}

Nilai *insertion loss* pada masing-masing frekuensi telah mencukupi spesifikasi yang diharapkan, yaitu minimal memiliki nilai > 10 dB pada frekuensi kerjanya.

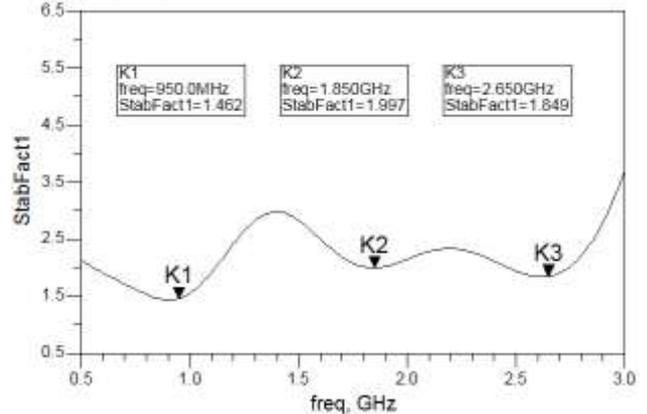


Gambar 15 Hasil *insertion loss* S_{21} terhadap perubahan suhu

Pada Gambar 15 menampilkan hasil simulasi *insertion loss* terhadap perubahan suhu, pada Gambar tersebut terlihat bahwa nilai S_{21} tidak mengalami perubahan yang signifikan pada suhu 25°C, 100°C, dan 175°C. Semetara itu apabila LNA tersebut bekerja pada suhu 200°C nilai *insertion loss* nya langsung turun.

Simulasi Kestabilan (K)

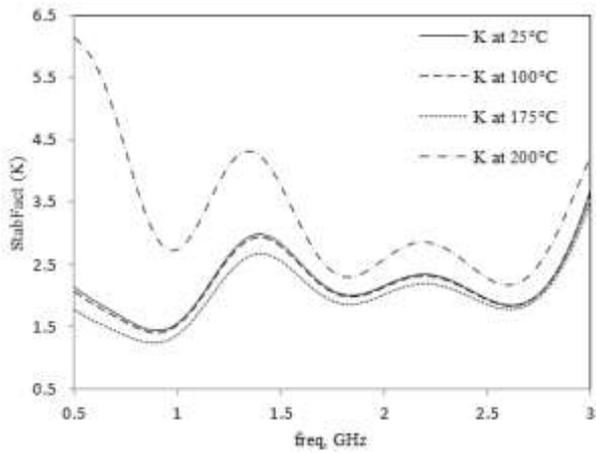
Hasil simulasi kestabilan (K) rangkaian multiband LNA tampak pada Gambar 16.



Gambar 16. Kestabilan (K)

Nilai kestabilan pada masing-masing frekuensi telah mencapai kondisi *unconditionally stable* yang berarti transistor ini sangat kecil kemungkinan untuk beresilasi, nilai ini mencukupi spesifikasi yang diharapkan, yaitu minimal memiliki $K > 1$ dB pada frekuensi kerjanya.

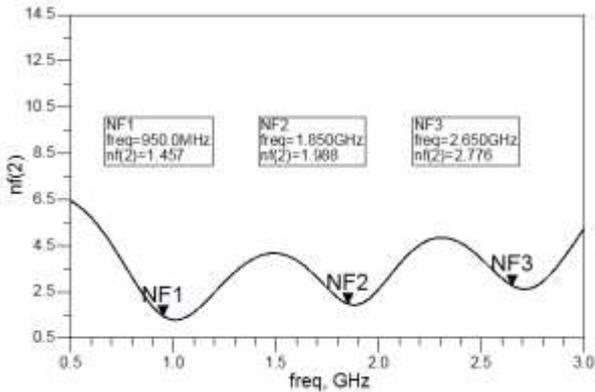
Pada Gambar 16 menampilkan hasil kestabilan (K) terhadap perubahan suhu, pada Gambar tersebut terlihat bahwa kestabilan (K) tidak mengalami perubahan yang signifikan pada suhu 25°C, 100°C, dan 175°C. Semetara itu apabila LNA tersebut bekerja pada suhu 200°C nilai kestabilan (K) langsung mengalami peningkatan, hal ini sangat beralasan karena nilai *insertion loss* berbanding terbalik dengan nilai kestabilan (K).



Gambar 17. Hasil kestabilan (K) terhadap perubahan suhu

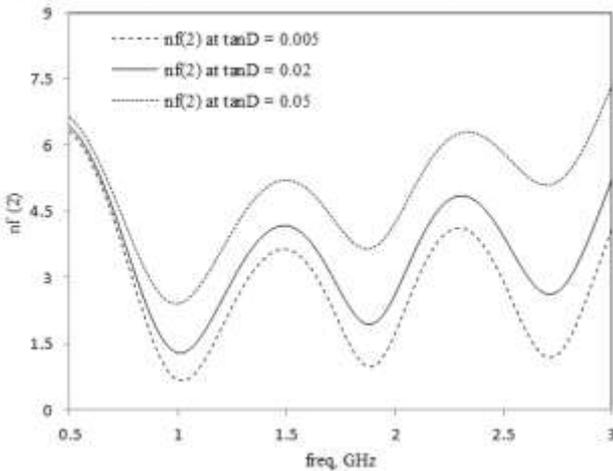
Simulasi Noise Figure

Parameter selanjutnya yang akan diperiksa adalah *noise figure*. Hasil simulasi *noise figure* $nf(2)$ rangkaian multiband LNA terlihat pada Gambar 18.

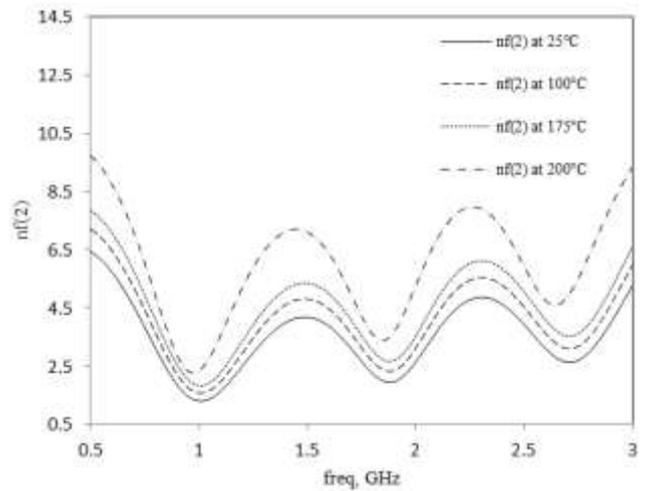


Gambar 18. Noise Figure NF(2)

Nilai *noise figure* pada masing-masing frekuensi telah mencapai kondisi yang diharapkan. Yaitu memiliki *noise figure* < 3dB pada semua frekuensi kerjanya.



Gambar 19. Nilai noise terhadap nilai dielektrik loss (Tan D)

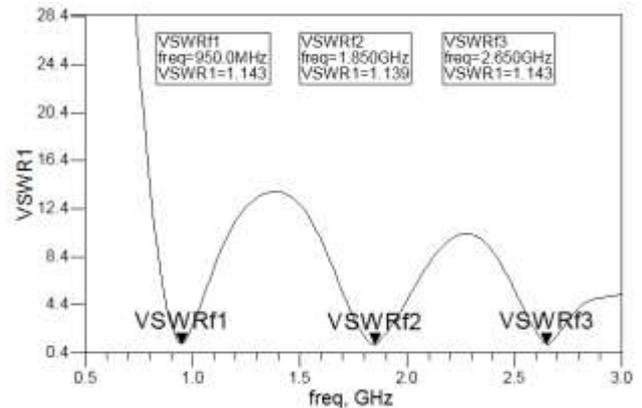


Gambar 20. Hasil nilai noise terhadap perubahan suhu
Selain karena faktor *noise* dari transistor, nilai *noise figure* dipengaruhi pula oleh *loss-loss* dielektrik ($\tan D$) dari microstrip yang dipergunakan, hal ini dapat dilihat dari hasil simulasi pada Gambar 20

Sementara itu, pada Gambar 20 menampilkan hasil *noise figure* $nf(2)$ terhadap perubahan suhu, pada Gambar tersebut terlihat bahwa nilai *noise figure* $nf(2)$ mengalami peningkatan yang bertahap mulai pada suhu 25°C, 100°C, dan 175°C. Sementara itu apabila LNA tersebut bekerja pada suhu 200°C nilai *noise figure* $nf(2)$ langsung mengalami peningkatan.

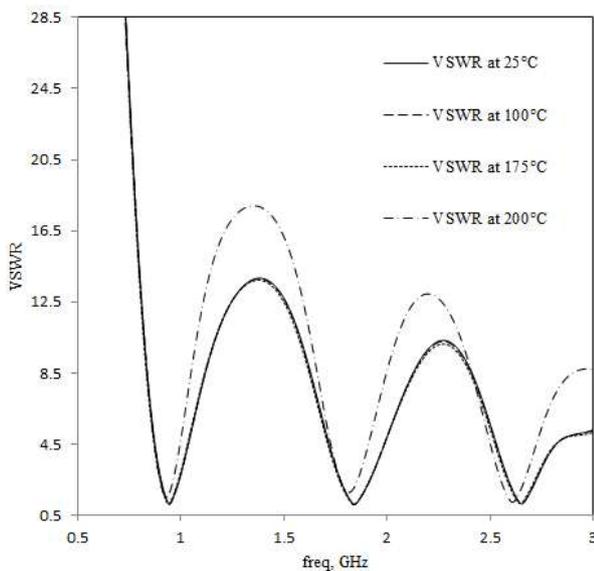
Simulasi VSWR

Parameter berikutnya yang akan diperiksa adalah VSWR dari rangkaian multiband LNA, hasilnya sebagaimana terlihat pada Gambar 21.



Gambar 21. VSWR

Nilai VSWR masing-masing frekuensi telah mencapai kondisi yang diharapkan, yaitu memiliki nilai antara 1 – 2 pada semua frekuensi kerja LNA multiband tersebut.

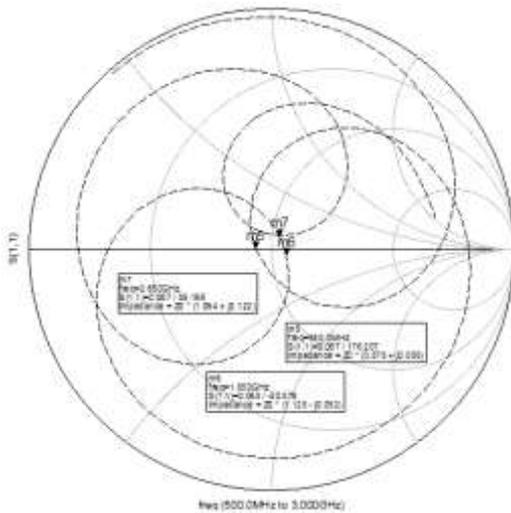


Gambar 22. VSWR terhadap perubahan suhu

Pada Gambar 22 menampilkan hasil VSWR terhadap perubahan suhu, pada Gambar tersebut terlihat bahwa nilai VSWR tidak mengalami peningkatan yang signifikan pada suhu 25°C, 100°C, dan 175°C. Sementara itu apabila LNA tersebut bekerja pada suhu 200°C nilai VSWR langsung mengalami pergeseran. Hal ini beralasan karena nilai VSWR sebanding dengan nilai *return loss*.

Simulasi Nilai Z_{IN}

Parameter berikutnya yang akan diperiksa adalah nilai Z_{IN} seperti terlihat pada Gambar 4.12, selain dengan cara mencari nilai *return loss* dan VSWRnya, nilai gelombang pantul juga dapat diprediksi dari besarnya Z_{IN} yang dihasilkan.



Gambar 24. Hasil Z_{IN}

Apabila hasil simulasi nilai Z_{IN} semakin mendekati nilai 50 Ω , maka akan semakin meningkatkan kinerja LNA tersebut. Hasil simulasi Z_{IN} terlihat pada Gambar 24

V. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa kinerja LNA yang telah disimulasikan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dirancang Concurrent Multiband LNA yang bekerja pada frekuensi 0,95 GHz, 1,85 GHz, dan 2,65 GHz untuk aplikasi GSM, WCDMA, dan LTE menggunakan multisection transformer.
 - a. Kinerja LNA pada frekuensi 0,95 GHz untuk GSM diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -23,541$ dB, *insertion loss* $S_{21} = 18,911$ dB, *stability K* = 1,462, *NF* = 1,475 dB, *VSWR* = 1,143 dB, dan *FoM* sebesar 8,38.
 - b. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 1,85 GHz untuk WCDMA diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -23,771$ dB, *insertion loss* $S_{21} = 12,858$ dB, *stability K* = 1,997, *NF* = 1,988 dB, *VSWR* = 1,139 dB, dan *FoM* sebesar 2,616.
 - c. Kinerja LNA pada frekuensi 2,65 GHz untuk LTE diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -23,521$ dB, *insertion loss* $S_{21} = 10,180$ dB, *stability K* = 1,849, *NF* = 2,776 dB, *VSWR* = 1,143 dB, dan *FoM* sebesar 1,152.
2. Dari hasil simulasi, ditunjukkan bahwa LNA ini telah mencapai kinerja yang diharapkan sesuai frekuensi teknis yang ditetapkan.
2. LNA multiband ini dapat mencapai kinerja optimum pada suhu 175 °C

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] David G. Rahn, Mark S. Cavin, "A Fully Integrated Multiband MIMO WLAN Transceiver RFIC," *IEEE Journal Of Solid-State Circuit*, Vol. 50, No.18. Agustus 2005.
- [2] Hasemi. Hosein, "Integrated Concurrent Multiband Radios and Multiple Antenna System". Ph.D. Dissertation. California Institute of Technology. California. September 2005.
- [3] Park. Youngcheol, "Dual-Band Transmitter Using Digitaly Predistored Frequency Multipliers for Reconfigurable Radio". Ph.D. Dissertation. School Elect and Computer Eng. Georgia Institute of Technology. Georgia. July 2004.
- [4] Jung. Kwangchun, "CMOS RFIC of Multiband Transceiver For Communication Systems" Ph.D. Dissertation. University of Florida. Florida. 2008.
- [5] Mustaffa. Taffir, "A Reconfigurable Low Noise Amplifier for Multistandard Receiver". Ph.D. Dissertation. Victoria University. Australia. 2009.
- [6] Adiseno, "Design Aspect of Fully Integrated Multiband Multistandard Front-End Receiver". Ph.D. Dissertation. Royal Institute of Technology. Stockholm. 2003.
- [7] Motoroiu. Serban, "Multiband/Multimode RF Front-End Receiver For Basestation Applications" M.S. Thesis. Delft University of Technology. Delft. Agustus 2011.
- [8] Noori. Hossein, "Reconfigurable RF Receiver Frontends for Multistandard Radio" M.S. Thesis. Auburn University. Alabama. Mei 2011.
- [9] Centinkaya. Hakan. "Design of LNTA for Multiband WCDMA" M.S. Thesis. Delft

- University of Technology. Delft. September 2011.
- [10] Sapone, G. and G. Palmisano, “A 3–10-GHz low-power CMOS low-noise amplifier for ultra-wideband communication,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, Vol. 59, No. 3, 678–686, Mar. 2011.
- [11] Perumana, B. G., J. C. Zhan, S. S. Taylor, B. R. Carlton, and J. Laskar, “Resistive-feedback CMOS low-noise amplifiers for multiband applications,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, Vol. 56, No. 5, 1228–1225, 2008.
- [12] He, K.-H., M.-T. Li, C.-M. Li, and J.-H. Tarnng, “Parallel-RC feedback low-noise amplifier for UWB applications,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems — II: Express Briefs*, Vol. 57, No. 8, 582–586, 2010.
- [13] Ismail, A. and A. A. Abidi, “A 3–10-GHz low-noise amplifier with wideband LC-ladder matching network,” *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 39, No. 12, 2269–2277, Dec. 2004.
- [14] Li, J.-Y., W.-J. Lin, M.-P. Houg, and L.-S. Chen, “A compact wideband matching 0.18- μm CMOS UWB low-noise amplifier using active feedback technique,” *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 16, 161–169, 2010.