



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN *CONCURRENT QUADBAND* LNA DENGAN LC-
RESONATOR UNTUK APLIKASI *MOBILE BROADBAND WIRELESS*
*ACCESS***

TESIS

DOBY PRAYADINATA

1006734804

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN *CONCURRENT QUADBAND* LNA DENGAN
LC- RESONATOR UNTUK APLIKASI *MOBILE BROADBAND*
*WIRELESS ACCESS***

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar magister teknik

DOBY PRAYADINATA

1006734804

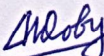
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : DOBY PRAYADINATA

NPM : 1006734804

Tanda Tangan : 

Tanggal : 8 Juli 2012

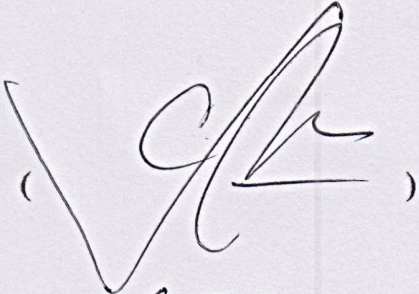
HALAMAN PENGESAHAN

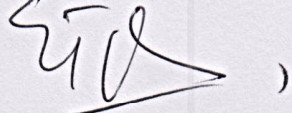
Tesis ini diajukan oleh

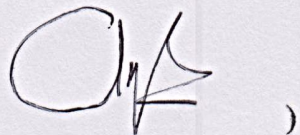
Nama : Doby Prayadinata
NPM : 1006734804
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tesis : Rancang Bangun *Concurrent Quadband* LNA dengan LC Resonator untuk aplikasi *Mobile Broadband Wireless Access*

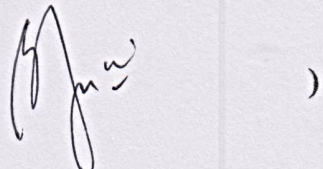
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc, Ph.D ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc. ()

Penguji : Dr. Ir. Arman D Diponegoro ()

Penguji : Basari, S.T, M.Eng, Ph.D ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2012


KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc, Ph.D selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Istri dan kedua anak saya, Mutiara Harahap, SH, Ardhani Lutfi Prayadinata, Ardhini Latifa Prayadinata yang telah memberikan semangat dan waktu.
- (3) Teguh Firmansyah, S.T, M.T yang memberi berbagai saran.
- (4) Teman satu kelompok yang telah saling memberikan bantuan dan dukungan;
- (5) Seluruh keluarga besar Civitas Akademika Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 8 Juli 2012



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Doby Prayadinata

NPM : 1006734804

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**RANCANG BANGUN *CONCURRENT QUADBAND* LNA DENGAN LC
- RESONATOR UNTUK APLIKASI *MOBILE BROADBAND WIRELESS ACCESS***

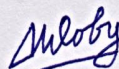
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih mediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 8 Juli 2012

Yang menyatakan



(Doby Prayadinata)

ABSTRAK

Nama : Doby Prayadinata
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : RANCANG BANGUN *CONCURRENT QUADBAND* LNA
DENGAN LC - RESONATOR UNTUK APLIKASI *MOBILE BROADBAND WIRELESS ACCESS*

Pada penelitian ini dirancang *concurrent quad band* LNA menggunakan LC resonator yang bekerja pada frekuensi 0,95 GHz, 1,85 GHz, 2,35 GHz, dan 2,65 GHz. Perancangan dilakukan menggunakan Advance Design System (ADS) kemudian dipabrikasi menggunakan substrat FR4. Kinerja hasil perancangan menunjukkan kinerja LNA pada frekuensi 0,95 GHz untuk GSM diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -25,4$ dB, *gain* $S_{21} = 38,42$ dB, *stability* $K = 18,6$, $NF = 1,3$ dB, $VSWR = 1,1$, dan FoM sebesar 1,91. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 1,85 GHz untuk WCDMA diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -26,7$ dB, *gain* $S_{21} = 33,24$ dB, *stability* $K = 11,3$, $NF = 1,31$ dB, $VSWR = 1,09$, dan FoM sebesar 1,59. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 2,35 GHz untuk WiMAX diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -24,6$ dB, *gain* $S_{21} = 31,24$ dB, *stability* $K = 8,5$, $NF = 1,3$ dB, $VSWR = 1,24$, dan FoM sebesar 1,55. Kinerja LNA pada frekuensi 2,65 GHz untuk LTE diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -16,1$ dB, *gain* $S_{21} = 30,13$ dB, *stability* $K = 7,3$, $NF = 1,33$ dB, $VSWR = 1,13$, dan FoM sebesar 1,36. Hasil pengukuran pada frekuensi 1,205 GHz memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -16,4$ dB, *gain* $S_{21} = 12,1$ dB, *stability* $K = 18,6$, $NF = 1,3$ dB, $VSWR = 1,1$, dan *group delay* sebesar 4 ns. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 2,05 GHz untuk WCDMA diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -14,5$ dB, *gain* $S_{21} = 11,2$ dB, dan *group delay* sebesar 1 ns. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 2,45 GHz untuk WiMAX diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -13,2$ dB, *gain* $S_{21} = 18,7$ dB, dan *group delay* sebesar 2 ns. Kinerja LNA pada frekuensi 2,75 GHz untuk LTE diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -14,3$ dB, *gain* $S_{21} = 15,3$ dB, dan *group delay* sebesar 2 ns.

Kata Kunci : *Quadband, LNA, LC resonator*

ABSTRACT

Nama : Doby Prayadinata
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : DESIGN CONCURRENT QUADBAND LNA USING LC -
RESONATOR FOR MOBILE BROADBAND WIRELESS
ACCESS

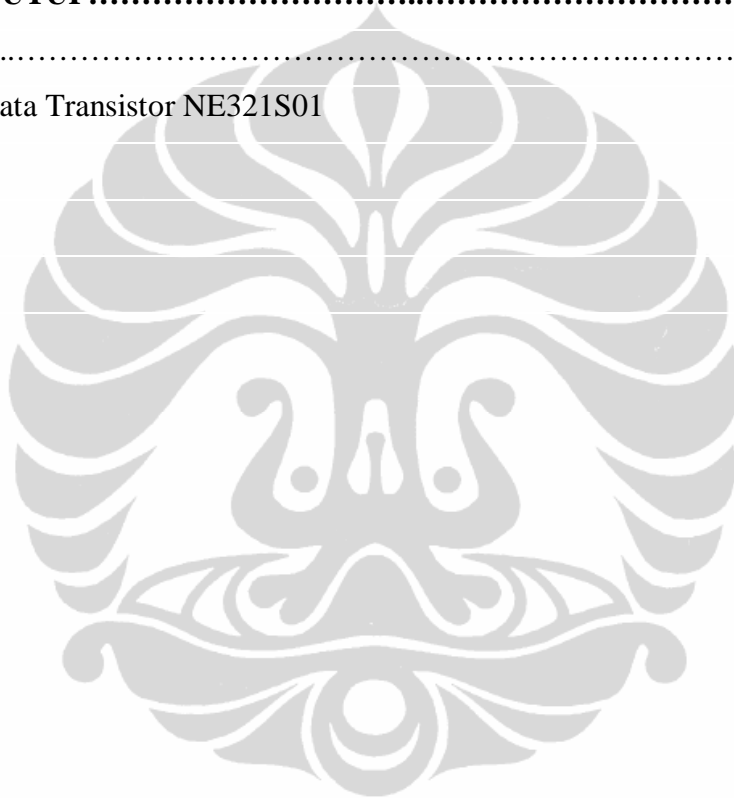
In the present study was designed quad-band concurrent LNA using LC resonator works at a frequency of 0.95 GHz, 1.85 GHz, 2.35 GHz and 2.65 GHz. The design is done using Advance Design System (ADS) is then fabricated using FR4 substrate. Performance results show the performance of LNA design at a frequency of 0.95 GHz to GSM which have the return loss $S_{11} = -25.4$ dB, $S_{21} = 38.42$ dB gain, stability $K = 18.6$, $NF = 1.3$ dB, $VSWR = 1.1$, and the FOM of 1.91. Meanwhile, the performance of the LNA at a frequency of 1.85 GHz for WCDMA which have the value of return loss $S_{11} = -26.7$ dB, $S_{21} = 33.24$ dB gain, stability $K = 11.3$, $NF = 1.31$ dB, $VSWR = 1.09$, and the FOM of 1.59. Meanwhile, the performance of the LNA at a frequency of 2.35 GHz for WiMAX which have the value of return loss $S_{11} = -24.6$ dB, $S_{21} = 31.24$ dB gain, stability $K = 8.5$, $NF = 1.3$ dB, $VSWR = 1.24$, and the FOM of 1.55. LNA performance at a frequency of 2.65 GHz for the LTE value of which has a return loss $S_{11} = -16.1$ dB, $S_{21} = 30.13$ dB gain, stability $K = 7.3$, $NF = 1.33$ dB, $VSWR = 1.13$, and the FOM of 1.36. The results of measurements at a frequency of 1,205 GHz has a value of return loss $S_{11} = -16.4$ dB, $S_{21} = 12.1$ dB gain, stability $K = 18.6$, $NF = 1.3$ dB, $VSWR = 1.1$, and group delay of 4 ns. Meanwhile, the performance of the LNA at a frequency of 2.05 GHz for WCDMA which have the value of return loss $S_{11} = -14.5$ dB, $S_{21} = 11.2$ dB gain and group delay of 1 ns. Meanwhile, the performance of the LNA at a frequency of 2.45 GHz for WiMAX which have the value of return loss $S_{11} = -13.2$ dB, $S_{21} = 18.7$ dB gain and group delay of 2 ns. LNA performance at a frequency of 2.75 GHz for the LTE value of which has a return loss $S_{11} = -14.3$ dB, $S_{21} = 15.3$ dB gain and group delay of 2 ns.

Key Words: *Quadband, LNA, LC resonator*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB II PERANCANGAN QUAD-BAND LNA DENGAN LC RESONATOR UNTUK APLIKASI m-BWA.....	5
2.1 Arsitektur Radio Frekuensi pada m-BWA.....	5
2.1.1 Arsitektur <i>Superheterodyne Receiver</i>	5
2.1.2 Arsitektur <i>Low IF Receiver</i>	6
2.1.3 Arsitektur <i>Direct Conversion Receiver</i>	6
2.2 Multiband RF Receiver pada m-BWA.....	8
2.2.1 <i>Concurrent Multiband LNA</i>	9
2.3 Perancangan <i>Multiband LNA</i> Untuk m-BWA.....	9
2.4 Bias Transistor dan <i>Stability Factor (K)</i>	12
2.5 Rangkaian Response	14
2.5.1 Sifat Respons LC-Resonator	15
BAB III HASIL SIMULASI DAN ANALISA	25
3.1 Hasil dan Analisa <i>Return Loss (S11)</i>	26

3.2 Hasil dan Analisa <i>Gain</i> (S_{21}).....	26
3.3 Hasil dan analisa Kestabilan (K).....	26
3.4 Hasil dan analisa <i>Noise Figure</i>	27
3.5 Hasil dan analisa <i>Group Delay</i>	28
3.6 Hasil IIP3 dan Kompresi 1-dB.....	28
3.7 Hasil Spektrum Output, IIP3 dan Kompresi 1-dB.....	33
3.8 <i>Figure of Merit Multiband LNA</i>	33
BAB IV PENUTUP	36
REFERENSI	38
Lampiran 1 Data Transistor NE321S01	



DAFTAR TABEL

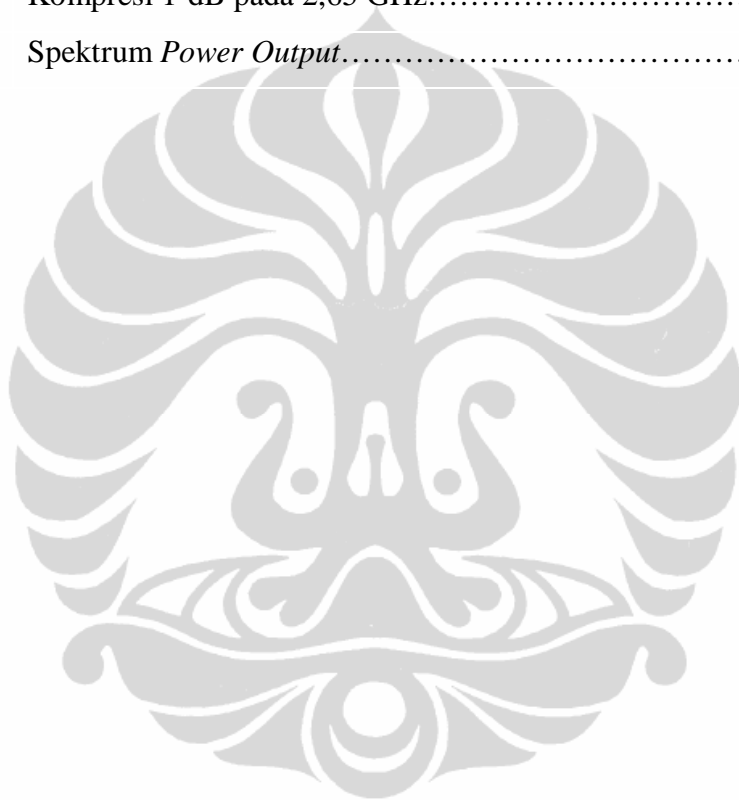
	Halaman
Tabel 2.1	Perbandingan berbagai arsitektur..... 7
Tabel 2.2	Perbandingan Konfigurasi Transistor..... 13
Tabel 2.3	Komponen Bias Transistor..... 13
Tabel 2.3	Komponen <i>Matching Multiband</i> LNA..... 15
Tabel 3.1	Perbandingan kinerja dan FoM <i>multiband</i> LNA..... 33



DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Arsitektur <i>superheterodyne receiver</i>	5
Gambar 2.2	Perubahan frekuensi pada arsitektur <i>superheterodyne receiver</i>	5
Gambar 2.3	Arsitektur <i>low IF receiver</i>	6
Gambar 2.4	Perubahan frekuensi pada arsitektur <i>low IF receiver</i>	6
Gambar 2.5	Arsitektur <i>direct conversion receiver</i>	7
Gambar 2.6	Perubahan frekuensi pada arsitektur <i>direct conversion receiver</i>	7
Gambar 2.7	Arsitektur <i>concurrent multiband receiver</i> [11].....	9
Gambar 2.8	Blok diagram <i>multiband LNA</i>	10
Gambar 2.9	Diagram Alir Perancangan <i>multiband LNA</i>	11
Gambar 2.10	Bias cascode dengan <i>common source degeneration</i>	12
Gambar 2.12	Faktor Kestabilan.....	14
Gambar 2.13	Rangkaian LC resonator.....	14
Gambar 2.14	Hasil simulasi respon resonator pertama.....	15
Gambar 2.15	Hasil simulasi respon resonator kedua.....	16
Gambar 2.16	Hasil simulasi respon resonator ketiga.....	16
Gambar 2.17	Hasil simulasi respon resonator keempat.....	17
Gambar 2.18	Rangkaian Quadband LNA dengan LC resonator.....	19
Gambar 2.19	Small Signal Rangkaian <i>Quadband LNA</i> dengan LC resonator	20
Gambar 2.20	Rangkaian Z_{IN} dan S_{11} NE321S01 dengan <i>small signal</i>	22
Gambar 2.21	Hasil simulasi <i>return loss</i> S_{11}).....	23
Gambar 3.1	Hasil pabrikasi <i>quad-band LNA</i>	24
Gambar 3.2	Hasil simulasi dan pengukuran <i>return loss</i> S_{11}	25
Gambar 3.3	Hasil simulasi dan pengukuran <i>gain</i> S_{21}	26
Gambar 3.4	Kestabilan (K)	27
Gambar 3.5	Noise Figure NF(2).....	27
Gambar 3.6	Hasil simulasi dan pengukuran <i>group delay</i>	28

Gambar 3.7	Nilai IIP3 pada frekuensi 950 MHz.....	29
Gambar 3.8	Kompresi 1-dB pada 950 MHz.....	29
Gambar 3.9	Nilai IIP3 pada frekuensi 1,850 GHz.....	30
Gambar 3.10	Kompresi 1-dB pada 1,85 GHz.....	30
Gambar 3.11	Nilai IIP3 pada frekuensi 2,35 GHz.....	31
Gambar 3.12	Kompresi 1-dB pada 2,35 GHz.....	31
Gambar 3.13	Nilai IIP3 pada frekuensi 2,65 GHz.....	32
Gambar 3.14	Kompresi 1-dB pada 2,65 GHz.....	32
Gambar 3.15	Spektrum <i>Power Output</i>	33



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Quadband low noise amplifier (LNA) adalah salah satu bagian *quadband transceiver* yang dapat beroperasi pada beberapa frekuensi yang berbeda dengan nilai *return loss* (S_{11}), *gain* (S_{21}), *noise figure* (NF), *stability* (K), dan VSWR yang baik pada semua frekuensi[1]. Saat ini telah dikembangkan *multiband* LNA yang mampu bekerja secara simultan pada beberapa frekuensi berbeda dengan nilai interferensi kecil yang menggunakan teknik *concurrent multiband*[2]. Teknik *concurrent multiband* didefinisikan sebagai teknik yang mampu beroperasi pada beberapa frekuensi dalam satu waktu dengan kinerja yang baik pada semua frekuensi [1][2].

Beberapa penelitian menggunakan teknik *concurrent multiband* LNA diantaranya dikemukakan Hossein Hasemi [3] penelitian ini merupakan awal dari penelitian yang menerapkan metode *concurrent* pada LNA. Pada penelitian ini dipergunakan paralel LC resonator sebagai *impedance matching* (IM) sehingga dapat bekerja secara *concurrent*. LC resonator merupakan sebuah komponen resonan berupa komponen induktansi (L) dan kapasistansi (C) yang dirangkai secara seri atau paralel. LC resonator ini dapat juga berfungsi sebagai tambahan pada komponen *impedance matching* sehingga *impedance matching* tersebut dapat bekerja pada beberapa frekuensi. LNA pada penelitian ini bekerja pada dualband dengan frekuensi 2,45 GHz, dan 5,2GHz. LNA tersebut memiliki kinerja S_{21} sebesar 14 dB pada 2,45 GHz, dan 15,5 dB pada 5,25 GHz. Sementara itu, nilai NF yang dihasilkan masih tinggi yaitu sebesar 2,3 dB pada 2,45 GHz, dan 4,5 dB pada 5,25 GHz. Sebagai penelitian permulaan, LNA ini dianggap mampu berkontribusi besar karena LNA yang dihasilkan mampu bekerja secara *concurrent*, walaupun masih bekerja secara *dualband* dengan kinerja yang masih dapat ditingkatkan kembali.

Penelitian *multiband* LNA yang dilakukan oleh Chih-Yuan [4] menggunakan metode *cascode shunt-peaking* dan LC resonator sebagai IM agar dapat bekerja secara simultan pada frekuensi 2,4 GHz, 3,5GHz, dan 5,2GHz. LNA

tersebut memiliki kinerja S_{21} sebesar 11,79 dB pada 2,4 GHz, 11,70 dB pada 3,5 GHz, dan 10,06 dB pada 5,2 GHz. Sementara itu, nilai NF yang dihasilkan masih tinggi yaitu sebesar 3,89 dB pada 2,4 GHz, 4,03 dB pada 3,5 GHz, dan 3,73 dB pada 5,2 GHz. Walaupun sudah dapat dihasilkan *multiband* LNA, akan tetapi NF yang dihasilkan masih cukup besar yaitu diatas 3,7 dB dengan S_{21} kurang dari 12 dB. Karena *multiband* LNA yang dirancang memiliki perbedaan frekuensi yang berjauhan, sehingga memudahkan proses perancangan.

Penelitian oleh Christina [5] yang menggunakan paralel LC resonator pada IM untuk dapat bekerja pada frekuensi frekuensi 1,8 GHz, 2,45 GHz, dan 5,2GHz. LNA tersebut memiliki kinerja S_{21} sebesar 10,1 dB pada 1,8 GHz, 10,8 dB pada 2,45 GHz, dan 11,8 dB pada 5,25 GHz. Sementara itu, nilai NF yang dihasilkan masih tinggi yaitu sebesar 3,69 dB pada 1,8 GHz, 4,75 dB pada 2,45 GHz, dan 6,36 dB pada 5,25 GHz. LNA ini telah mampu bekerja secara *multiband* dengan kinerja yang dapat ditingkatkan kembali.

Penelitian *multiband* LNA oleh Chyuen-Wei [6] yang menggunakan metode cascade dan LC resonator sebagai IM agar dapat bekerja secara simultan pada frekuensi 0,945 GHz, 2,4GHz, dan 5,25GHz. LNA tersebut memiliki kinerja S_{21} sebesar 18 dB pada 0,945 GHz, 24 dB pada 2,4 GHz, dan 23 dB pada 5,25 GHz. Sementara itu, nilai NF yang dihasilkan masih tinggi yaitu sebesar 4,6 dB pada 0,925 GHz, 4,43 dB pada 2,4 GHz, dan 4,42 dB pada 5,25 GHz. Karena menggunakan cascade maka LNA ini dapat memiliki *gain* yang tinggi. Akan tetapi noise yang dihasilkan masih tinggi. Pada beberapa penelitian *concurrent multiband* LNA [2]-[6] dapat diperlihatkan bahwa *multiband* LNA dapat dihasilkan menggunakan LC resonator untuk dapat bekerja secara bersamaan.

Bebeda dengan penelitian [2]-[6], pada penelitian yang diusulkan oleh Teguh [7], *multiband* LNA yang mampu bekerja pada frekuensi 0,95 GHz, 1,85 GHz, dan 2,65 Ghz dipergunakan *multisection impedance transformer* (MIT) sebagai IM. LNA yang dirancang memiliki kinerja pada frekuensi 0,95 GHz dengan S_{21} sebesar 18,911 dB dan NF sebesar 1,475 dB. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 1,85 GHz untuk WCDMA diantaranya memiliki nilai S_{21} sebesar 12,858 dB dan NF sebesar 1,988 dB, serta kinerja LNA pada frekuensi 2,65 GHz S_{21} sebesar 10,180 dB, dan NF sebesar 2,776 dB. Penelitian ini mampu

menghasilkan *multiband* LNA yang memiliki nilai *noise* yang rendah, akan tetapi masih memiliki ukuran yang besar karena mempergunakan teknologi *microstrip*.

Pada penelitian ini diusulkan perancangan *concurrent quad-band* LNA dengan LC resonator sebagai quadband IM, dimana LC resonator memiliki keunggulan karena *compact* selain itu dapat diteruskan menjadi teknologi berbasis RFIC. Sementara itu topologi inti LNA yang digunakan yaitu *cascade source degeneration*. Topologi *cascade source degeneration* merupakan sebuah *core* dari LNA yang mampu menghasilkan *noise* yang rendah dengan *gain* yang tinggi. Selain itu, LNA *quad-band* ini merupakan salah satu rancangan awal LNA yang mampu bekerja simultan secara 4 frekuensi yang berbeda. Beberapa keterbaruan yang diusulkan diantaranya yaitu, dihasilkan *quad-band* LNA yang memiliki gain yang tinggi dengan *noise* yang rendah. Dipergunakan multi LC resonator sebagai *impedance matching* untuk menghasilkan *quad-band*. Jenis transistor yang dipergunakan yaitu NE321S01 yang memiliki konsumsi *power* sebesar 5mW.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan perancangan LNA ini diharapkan mampu bekerja 4 band dengan kinerja seperti :

- a. *Quad band* : frekuensi tengah 0,95 GHz, 1,85 GHz, 2,35 GHz, dan 2,65 GHz. [8]
- b. Gain (S_{21}) > 12 dB, [8]
- c. NF < 3 dB [8]
- d. *Unconditional* stabil ($K > 1$), [8]
- e. *Input Return Loss* (S_{11}) < -10dB, [8]
- f. VSWR < 2, [8]
- g. *High-Input* IP3 > 5 dBm pada semua frekuensi kerja.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini berkisar tentang perancangan LNA pada frekuensi 0,95 GHz, 1,85 GHz, 2,15 GHz, dan 2,65 GHz, menggunakan ADS. Hasil perancangan dipabrikasi menggunakan substrat FR4 dengan $\epsilon_r = 4,3$ dan $h = 1,58$ mm.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tesis ini disusun meliputi, pendahuluan, Perancangan simulasi *multiband* LNA, analisa, dan kesimpulan.

Bab 1 Pendahuluan

Menjelaskan latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Perancangan Quadband LNA Dengan LC Resonator

Pada bab ini memberikan penjelasan tahapan perancangan LNA, Spesifikasi LNA, Alur Perancangan, DC Bias Transistor, Nilai Zin dan S_{11} Bias transistor, perancangan LC resonator, *Return Loss* Setelah Karakterisasi.

Bab 3 Hasil Simulasi, Pabrikasi, Dan Analisa Multiband LNA

Memberikan penjelasan analisa kinerja Rangkaian Multiband LNA, Simulasi Spektrum *Output Power*, *Figure of Merit Multiband LNA*

Bab 4 Kesimpulan

Pada bab ini berisi kesimpulan hasil perancangan LNA ini.

BAB 2

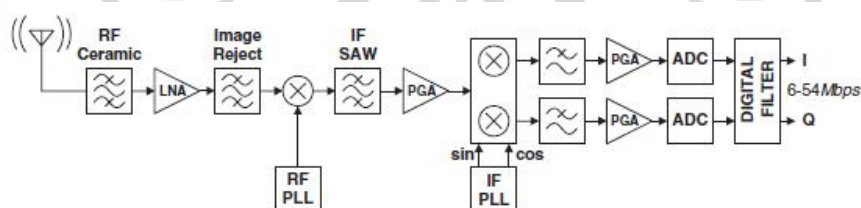
PERANCANGAN *QUAD-BAND* LNA DENGAN LC RESONATOR UNTUK APLIKASI m-BWA

2.1 Arsitektur Radio Frekuensi pada m-BWA

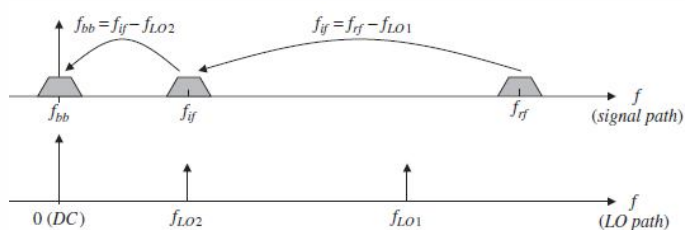
Terdapat beberapa topologi yang biasa dipergunakan pada arsitektur radio sistem mBWA. Diantaranya yaitu *superheterodyne receiver*, *low IF receiver*, dan *direct conversion receiver*.

2.1.1 Arsitektur *Superheterodyne Receiver*

Arsitektur *superheterodyne receiver* merupakan arsitektur yang paling stabil diantara berbagai arsitektur *receiver*, karena sinyal RF akan dikonversikan dulu menjadi sinyal IF untuk kemudian diubah menjadi *baseband*. Arsitektur *superheterodyne receiver* terlihat pada Gambar 2.1 dibawah ini. Sementara itu perubahan frekuensinya terlihat seperti Gambar 2.2 [9].



Gambar 2.1 Arsitektur *superheterodyne receiver*

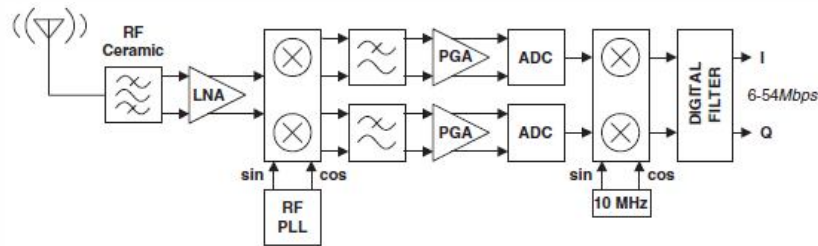


Gambar 2.2 Perubahan frekuensi pada arsitektur *superheterodyne receiver*

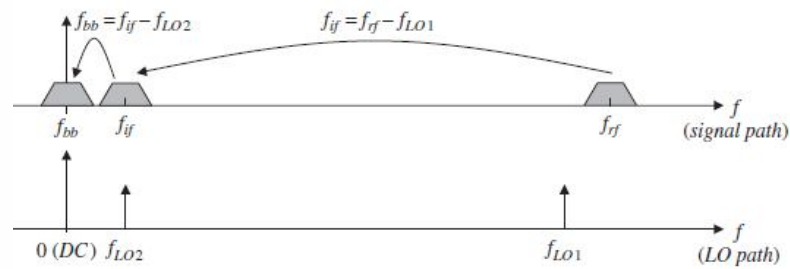
Pada struktur *superheterodyne receiver* sinyal RF akan diturunkan frekuensi nya menjadi frekuensi IF, frekuensi IF biasanya sebesar 100 MHz.

2.1.2 Arsitektur *Low IF Receiver*

Arsitektur *low IF receiver* merupakan asitektur yang memiliki nilai IF hampir sama dengan *base-band*. Arsitektur *low IF receiver* secara lebih lengkap terlihat pada Gambar 2.3, sementara itu Gambar 2.4 memperlihatkan perubahan frekuensi pada arsitektur *low IF receiver* [9].



Gambar 2.3 Arsitektur *low IF receiver*

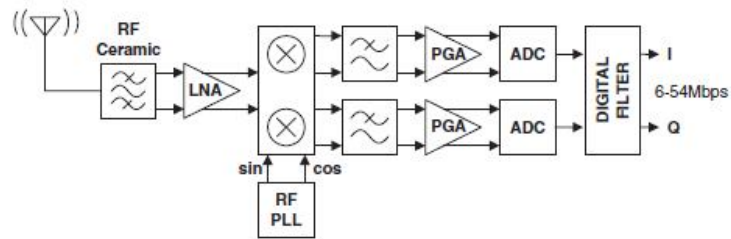


Gambar 2.4 Perubahan frekuensi pada arsitektur *low IF receiver*

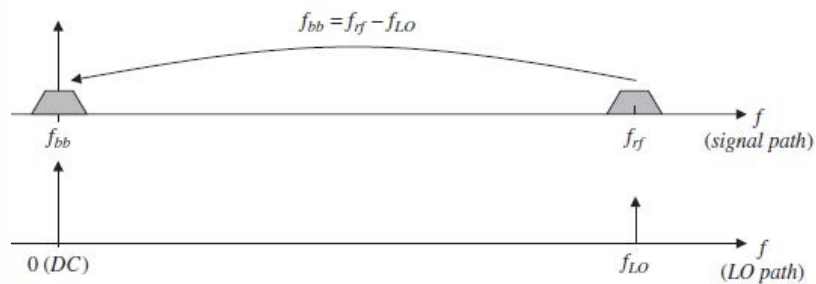
Pada struktur *low IF receiver* sinyal RF akan di turunkan frekuensi nya menjadi frekuensi IF dengan frekuensi rendah, frekuensi IF biasanya sebesar 10 MHz.

2.1.3 Arsitektur *Direct Conversion Receiver*

Arsitektur *direct conversion receiver* merupakan asitektur yang memiliki nilai IF nol atau sama dengan *base-band*nya. Arsitekturnya secara lebih lengkap terlihat pada Gambar 2.5 dibawah ini, sementara pada Gambar 2.6 memperlihatkan perubahan frekuensi pada arsitektur *direct conversion receiver*.



Gambar 2.5 Arsitektur *direct conversion receiver*



Gambar 2.6 Perubahan frekuensi pada arsitektur *direct conversion receiver*

Pada arsitektur *direct conversion receiver*, sinyal RF akan langsung dikonversi menjadi sinyal *base band*, sehingga tidak memerlukan komponen yang bekerja pada frekuensi IF. Berbagai arsitektur *receiver* tersebut memiliki kelebihan dan kelemahan seperti terlihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Berbagai Arsitektur *Receiver*

Arsitektur	Kelebihan	Kelemahan
Superheterodyne	<ol style="list-style-type: none"> Memiliki kinerja yang baik Power rendah Lebih fleksibel 	<ol style="list-style-type: none"> Mahal dan besar Memerlukan banyak filter Masalah frekuensi <i>image</i>
Low IF	<ol style="list-style-type: none"> Tidak memerlukan IF SAW dan IF PLL Lebih murah dari superheterodyne 	<ol style="list-style-type: none"> Memerlukan ADC yang baik. Diperlukan Quadrature RF mixer
Direct Conversion	<ol style="list-style-type: none"> Paling murah 	<ol style="list-style-type: none"> Diperlukan

	2. Tidak memerlukan IF SAW dan IF PLL 3. Sedikit masalah frekuensi image	Quadrature RF mixer 2. Masalah frekuensi DC
--	-----------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------

2.2 Multiband RF Receiver pada m-BWA

Low noise amplifier (LNA) merupakan salah satu subsistem yang sangat penting dari sistem RF receiver. Agar dihasilkan *multiband transceiver* maka diperlukan multiband LNA. Multiband LNA dapat dihasilkan dengan teknik *concurrent*. Teknik *concurrent multiband* didefinisikan sebagai teknik yang mampu beroperasi pada beberapa frekuensi dalam satu waktu dengan kinerja yang baik pada semua frekuensi. 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. Beberapa keuntungan dari *concurrent multiband* antara lain [10]:

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.

b. High Data Rate

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

c. Ketahanan Sistem

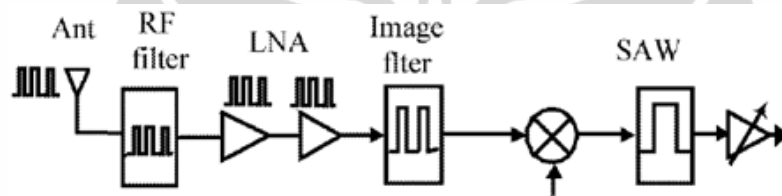
Penggunaan *multiband* frekuensi dengan teknik *concurrent* tidak hanya meningkatkan nilai *data rate* tetapi juga meningkatkan ketahanan sistem terhadap adanya *fading* pada kanal. Apabila salah satu kanal tidak bekerja optimal maka kanal yang lain akan dioptimalkan.

d. Peningkatan Kinerja

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

2.2.1 Concurrent Multiband LNA

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 seperti terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Arsitektur *concurrent multiband receiver* [11]

Sinyal masuk melalui antena, 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.

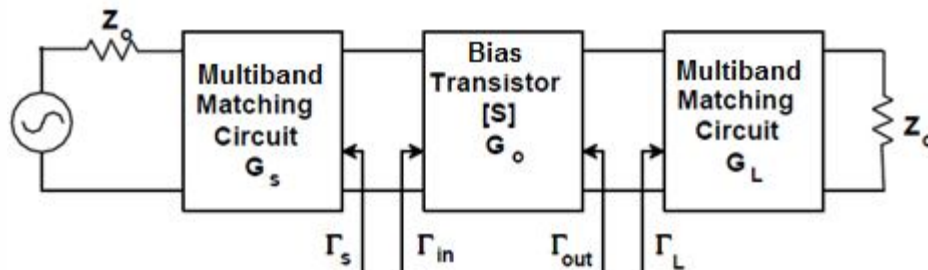
2.3 Perancangan Multiband LNA Untuk m-BWA

Pada perancangan *multiband* band LNA yang baik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, hal penting yang harus diperhatikan adalah *return loss* (S_{11}), *gain* (S_{21}), *Noise figure* (NF), *stabilitas* (K) tanpa adanya osilasi, dan linearitas. Oleh karena itu diperlukan suatu metode agar dicapai *gain* yang tinggi dengan derau (*Noise Figure*) yang rendah.

Secara lengkap blok diagram perancangan *multiband* LNA ditunjukkan pada Gambar 2.8. Sementara itu, proses perancangan menggunakan alur sebagaimana terlihat pada Gambar 2.9 dan dibantu menggunakan simulasi S-

Parameter pada perangkat lunak Advanced Design System (ADS). Karakteristik LNA yang dibangun memiliki spesifikasi sebagai berikut.

- Quad band* : frekuensi tengah 0,95 GHz, 1,85 GHz, 2,35 GHz, dan 2,65 GHz. [8]
- Gain* (S_{21}) > 12 dB, [8]
- NF < 3 dB [8]
- Unconditional stabil* ($K > 1$), [8]
- Input Return Loss* (S_{11}) < -10dB, [8]
- VSWR < 2, [8]
- High-Input IP3* > 5 dBm pada semua frekuensi kerja.



Gambar2.8 Blok diagram multiband LNA

Dari blok diagram *quadband* LNA pada Gambar 2.8, tahapan perancangan *quadband* LNA adalah sebagai berikut :

- Bias Transistor

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

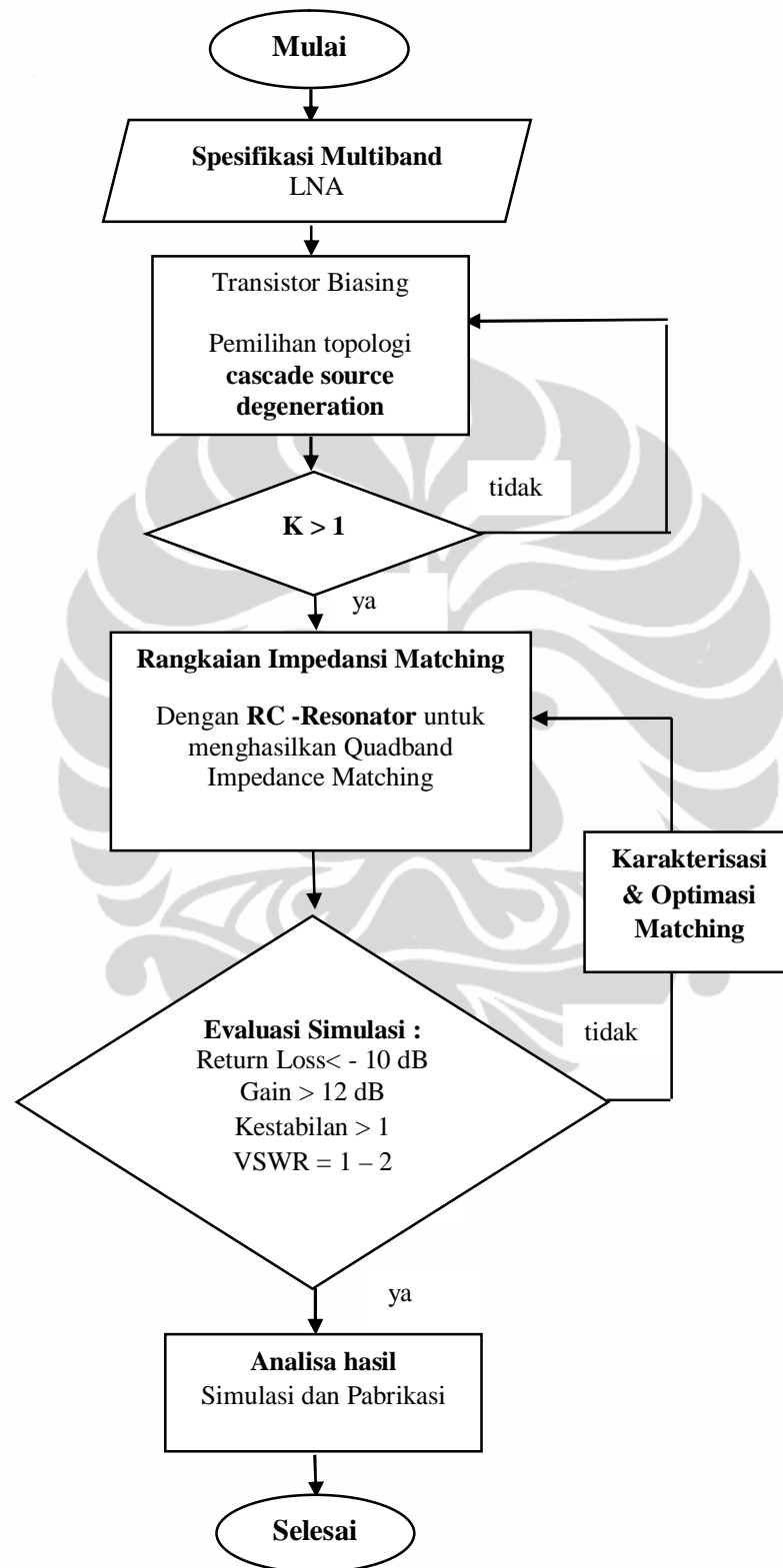
- Impedance Matching*

Tahapan selanjutnya yaitu perancangan *impedance matching* yang menggunakan *LC resonator*.

- Evaluasi

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

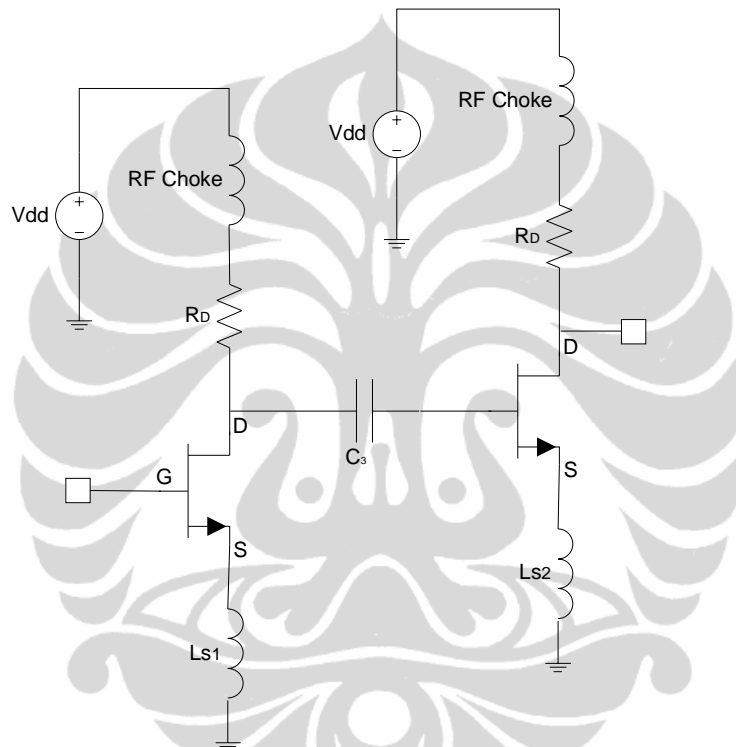
Perancangan dimulai dari Bias transistor, kemudian dilanjutkan kepada *matching* yang menggunakan LC resonator untuk menghasilkan *multiband*.



Gambar2.9 Diagram alir perancanganquadband LNA

2.4 Bias Transistor dan *Stability Factor* (K)

Agar sebuah transistor mampu bekerja pada titik kerjanya maka harus di bias, topologi bias transistor terlihat seperti pada Gambar 2.10 dimana topologi yang dipergunakan merupakan jenis *topologi cascade* [12] dengan *common source degeneration*. Perbandingan *cascade* dan *cascode* terlihat pada Tabel 2.2. Sementara itu, topologi pada penelitian memiliki nilai komponen yang terlihat pada Tabel 2.2.



Gambar 2.10 Bias cascade dengan *common source degeneration*

Transistor yang dipilih adalah NE321S01 *super low noise* dengan DC bias $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $V_D = 2,151 \text{ V}$, $V_{DS} = 1,66 \text{ V}$ dan $I_{DS} = 47,7 \text{ mA}$. Untuk dapat bekerja pada bias tersebut, maka transistor harus dibias dengan nilai komponen yang diberikan oleh.

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} \rightarrow R_D = \frac{5 - 2,151 \text{ V}}{40,7 \cdot 10^{-3}} = 70 \Omega$$

$$V_G = 0 \text{ V}$$

$$\text{Konsumsi power} = (V_{DS})(I_{DS}) = (1,66 \text{ V})(40,7 \text{ mA}) = 67 \text{ mW}$$

Tabel 2.2 Perbandingan Konfigurasi Transistor

Kinerja	Konfigurasi	
	Cascode	Cascade
Gain	Average	High
Noise	Low	Low
Stability	Average	High
Resistansi	High	Average
Tegangan 2 transistor	Tidak Sama	Sama

Nilai komponen bias tersebut terlihat pada Tabel 2.3. Nilai komponen bias tersebut merupakan hasil iterasi yang dapat menghasilkan ketabilan lebih besar dari $K > 1$.

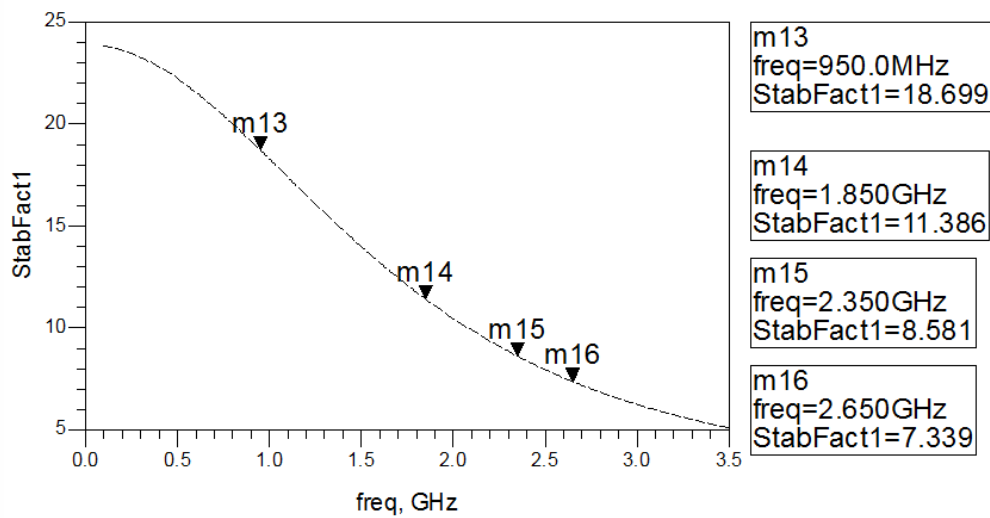
Tabel 2.3 Komponen Bias Transistor

Komponen	Nilai
Vdd	5 V
RF Choke	5 nH
R_{D1}	70 Ω
L_{S1}	0,35 nH
L_{S2}	0,47 nH
C	5 pF

Pada perancangan ini dipergunakan nilai DC bloking kapasitor sebesar 100 pF. Selain berguna sebagai DC bloking, juga berguna sebagai *short-circuit* pada rangkaian RF. Gambar 2.11 memperlihatkan hasil *stability* faktor (K) pada semua frekuensi kerja.

Nilai kestabilan pada masing-masing frekuensi telah mencapai kondisi *unconditionally stable* yang berarti transistor ini sangat kecil kemungkinan untuk beresilasi hasil simulasi kestabilan (K). Pada frekuensi 950 MHz sebesar 18,69. Sementara pada frekuensi 1,85 GHz sebesar 11,38. Pada frekuensi 2,35 sebesar 8,58. Selain itu, pada frekuensi 2,65 GHz sebesar 7,33. Nilai ini mencukupi

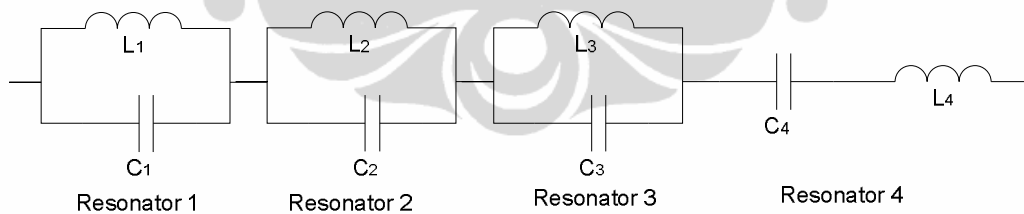
spesifikasi yang diharapkan, yaitu minimal memiliki $K > 1$ pada frekuensi kerjanya.



Gambar2.12Faktor Kestabilan

2.5 Rangkaian Response *Matching Impedance*

Agar LNA dapat mentransmisikan power secara maksimal, maka harus ditambahkan *impedance matching*. Pada penelitian ini dipergunakan LC resonator sebagai *impedance matching* agar mampu beroperasi pada beberapa frekuensi yang berbeda. Rangkaian lengkap LC resonator terlihat pada Gambar 2.13.



Gambar2.13 Rangkaian LC resonator

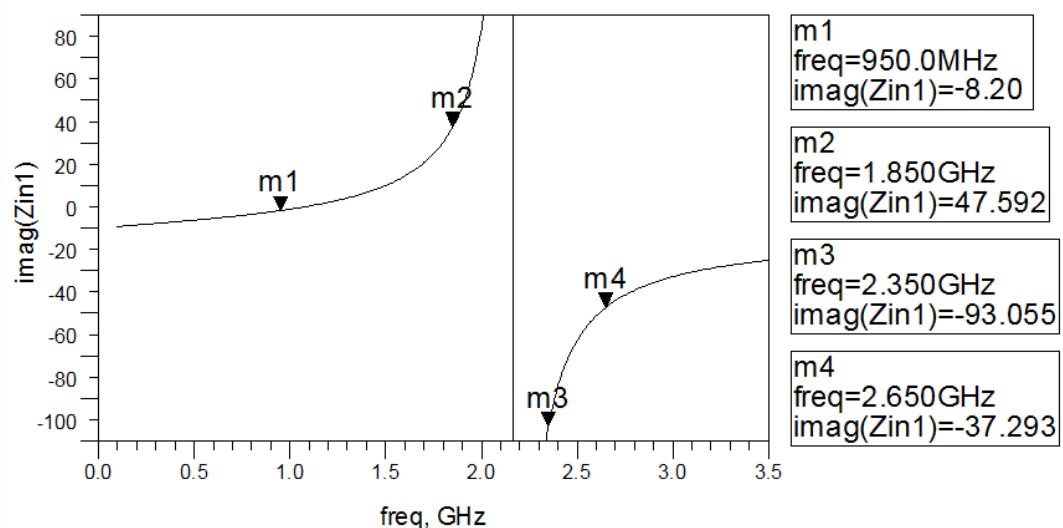
Nilai komponen resonator tersebut terlihat pada Tabel 2.3. Nilai komponen bias tersebut merupakan hasil iterasi yang dapat menghasilkan resonant pada 4 frekuensi yang berbeda sebanyak *quad band*. Resonan tersebut dipergunakan sebagai komponen *impedance matching*.

Tabel 2.4 Komponen *Matching Multiband LNA*

Komponen	Nilai	Komponen	Nilai
L_1	1,11 nH	C_1	4,86pF
L_2	0,32 nH	C_2	11,89pF
L_3	9,44 nH	C_3	2,43pF
L_4	18,4 nH	C_4	100pF

2.5.1 Sifat Respons LC-Resonator

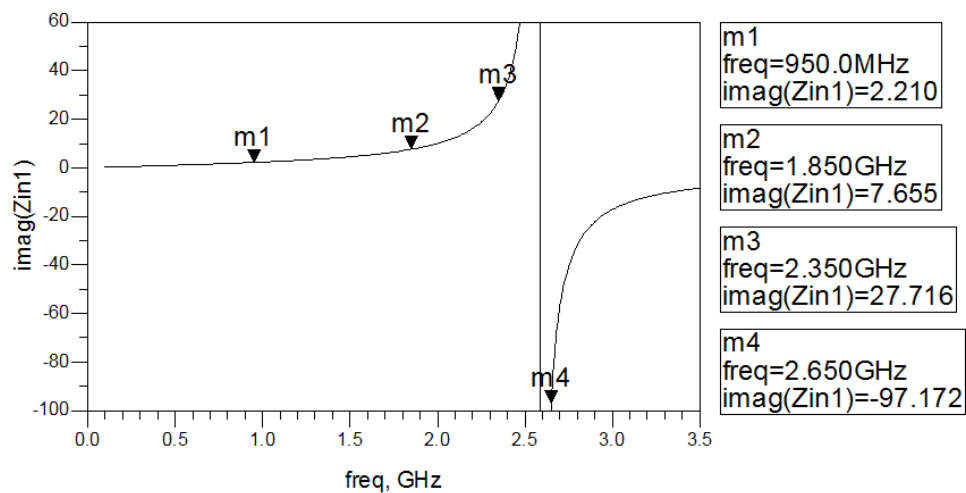
Gambar 2.14 memperlihatkan hasil simulasi response resonator pertama apabila dilihat dari sisi nilai imajinerinya.



Gambar 2.14 Hasil simulasi respon resonator pertama

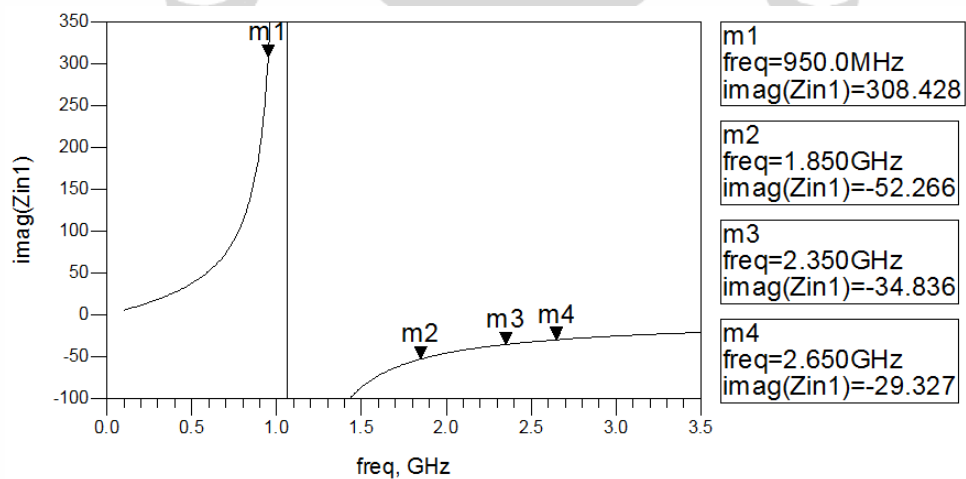
Pada Gambar 2.14 memperlihatkan rangkaian resonator memiliki karakteristik sebagai berikut. Pada frekuensi 0,95 GHz bekerja sebagai kapasitor (C), pada frekuensi 1,85 GHz bekerja sebagai induktor (L), pada frekuensi 2,35 GHz bekerja sebagai kapasitor (C), pada frekuensi 2,65 GHz bekerja sebagai kapasitor (C)

Gambar 2.15 memperlihatkan hasil simulasi response resonator kedua apabila dilihat dari sisi nilai imajinerinya.



Gambar 2.15 Hasil simulasi respon resonator kedua

Pada Gambar 2.15 memperlihatkan rangkaian resonator tersebut memiliki karakteristik pada frekuensi 0,95 GHz bekerja sebagai Induktor (L), pada frekuensi 1,85 GHz bekerja sebagai Induktor (L), pada frekuensi 2,35 GHz bekerja sebagai induktor (L), pada frekuensi 2,65 GHz bekerja sebagai kapasitor (C). Gambar 2.16 hasil simulasi memperlihatkan response resonator ketiga apabila dilihat dari sisi nilai imajineranya.

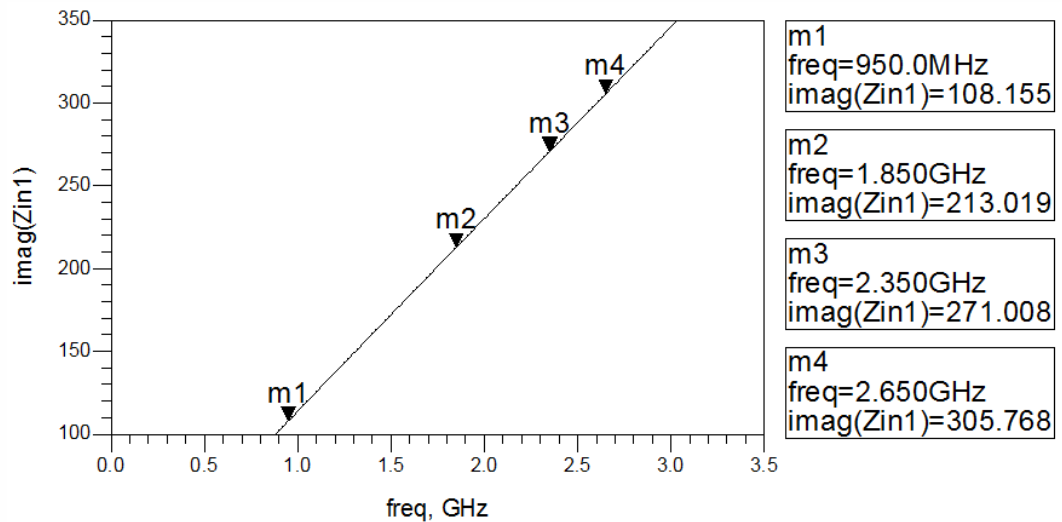


Gambar 2.16 Hasil simulasi respon resonator ketiga

Pada Gambar 2.16 memperlihatkan rangkaian resonator tersebut memiliki karakteristik pada frekuensi 0,95 GHz bekerja sebagai Induktor (L), pada frekuensi 1,85 GHz bekerja sebagai kapasitor (C), pada frekuensi 2,35 GHz

bekerja sebagai kapasitor (C), pada frekuensi 2,65 GHz bekerja sebagai kapasitor (C).

Gambar 2.17 memperlihatkan hasil simulasi response resonator keempat apabila dilihat dari sisi nilai imajineranya.



Gambar 2.17 Hasil simulasi respon resonator keempat

Pada Gambar 2.17 memperlihatkan bahwa rangkaian resonator tersebut memiliki karakteristik pada frekuensi 0,95 GHz bekerja sebagai Induktor (L) pada frekuensi 1,85 GHz bekerja sebagai induktor (L), pada frekuensi 2,35 GHz bekerja sebagai Induktor (L), pada frekuensi 2,65 GHz bekerja sebagai Induktor (L). Secara lebih lengkap terlihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.5 Sifat respon resonator

Resonator	Frekuensi			
	0,95 GHz	1,85 GHz	2,35 GHz	2,65 GHz
Pertama	C _A	L _A	C _A	C _A
Kedua	L _B	L _B	L _B	C _B
Ketiga	L _C	C _C	C _C	C _C
Keempat	L _D	L _D	L _D	L _D

Apabila dianalisa frekuensi resonant, maka akan memenuhi persamaan yang diberikan oleh :

Pada frekuensi 950 MHz :

$$f_{950 \text{ MHz}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C_A(L_B + L_C + L_D)}} \quad (2.1)$$

Pada frekuensi 1,85 GHz :

$$f_{1,85 \text{ GHz}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C_C(L_A + L_B + L_C)}} \quad (2.2)$$

Pada frekuensi 2,35 GHz :

$$f_{2,35 \text{ GHz}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{C_A C_C}{C_A + C_C}\right) (L_B + L_D)}} \quad (2.2)$$

Pada frekuensi 2,65 GHz.

$$f_{2,6 \text{ GHz}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_D \left(\frac{C_A C_B C_C}{C_A C_B + C_A C_C + C_B C_C}\right)}} \quad (2.4)$$

Dengan keterangan :

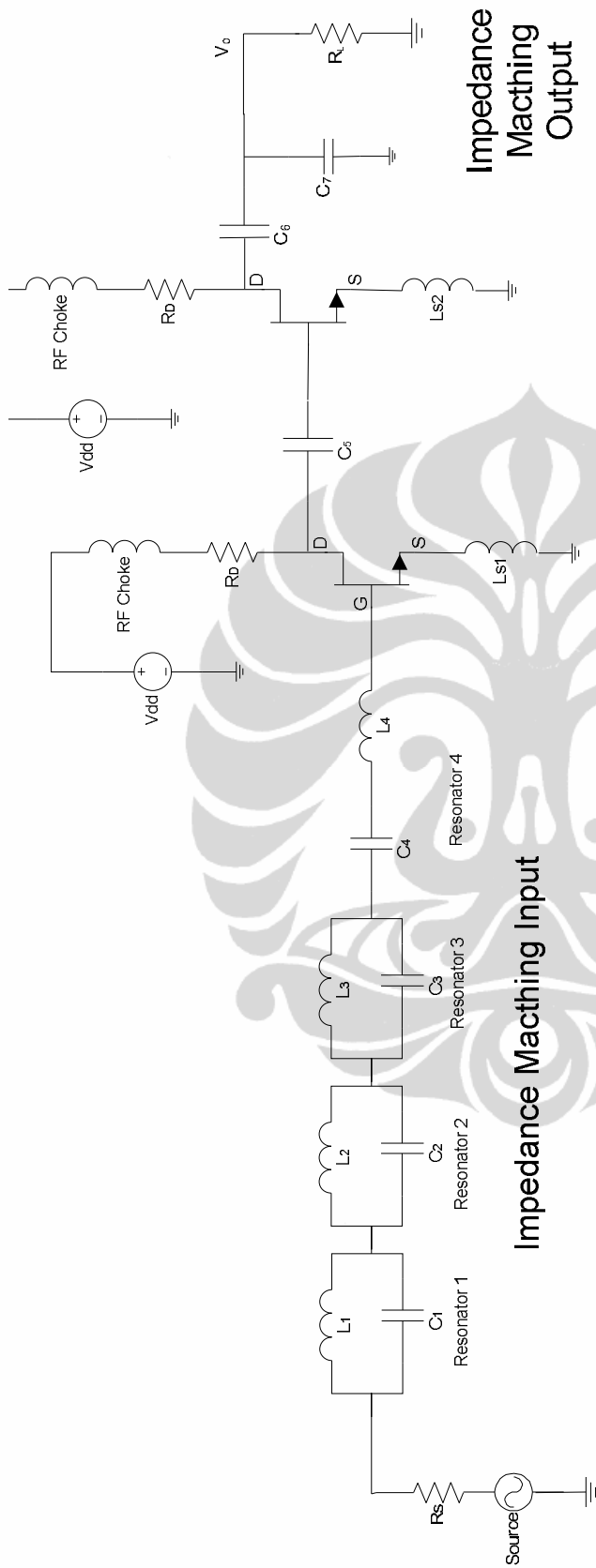
A = sifat resonant pertama

B = sifat resonant kedua

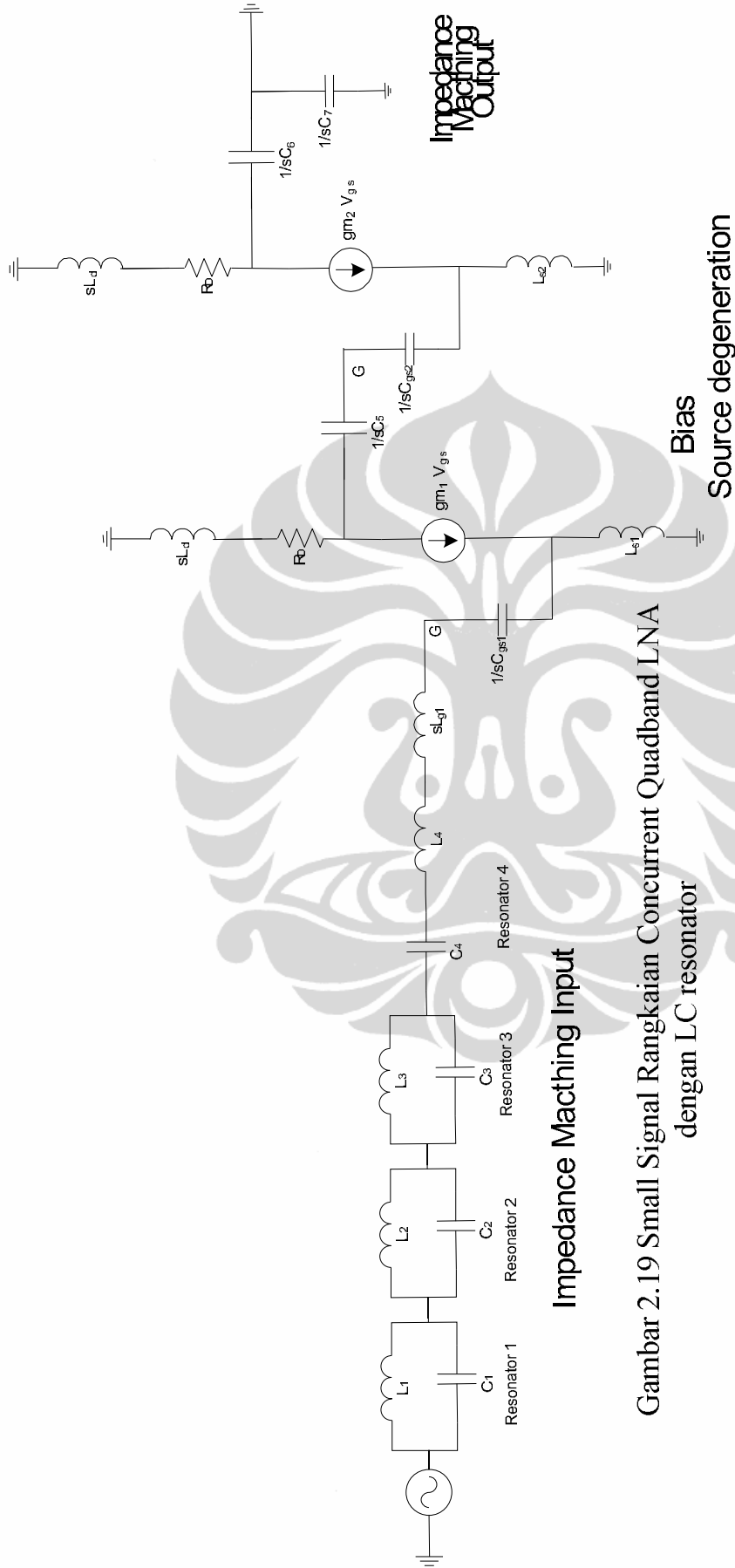
C = sifat resonant ketiga

D = sifat resonant keempat

Rangkaian lengkap hasil LNA resonator dengan LC resonan terlihat pada Gambar 2.18. Selanjutnya yaitu analisa Z_{IN} pada rangkaian lengkap LNA, seperti terlihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.18 Rangkaian Concurrent Quadband LNA dengan LC Resonator



Gambar 2.19 Small Signal Rangkaian Concurrent Quadband LNA dengan LC resonator

Nilai Z_{IN} pada rangkaian lengkap LNA pada Gambar 2.19 diberikan oleh persamaan :

$$Z_1 = \frac{sL_1}{1 + s^2L_1C_1} \quad (2.5)$$

$$Z_2 = \frac{sL_2}{1 + s^2L_2C_2} \quad (2.6)$$

$$Z_3 = \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} \quad (2.7)$$

$$Z_4 = sL_4 + \frac{1}{sC_4} \quad (2.8)$$

Sehingga nilai Z_{IN} menjadi :

$$\begin{aligned} Z_{IN} &= Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}} L_s \\ &= \frac{sL_1}{1 + s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1 + s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g \\ &\quad + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}} L_s \end{aligned} \quad (2.9)$$

Sementara itu, nilai Z_{OUT} memenuhi persamaan berikut ini :

$$Z_{OUT} = \frac{1 + s.rC_6 + s^2L_dC_7}{s(C_6 + C_7) + s^2.rC_6C_7 + s^3L_dC_6C_7} \quad (2.10)$$

Dari persamaan (2.9) maka dapat dilakukan perhitungan nilai S-parameternya diantaranya yaitu :

$$S_{11} = \frac{Z_{IN} - R_S}{Z_{IN} + R_S} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\left(\frac{sL_1}{1+s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1+s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}} L_s \right) - R_S}{\left(\frac{sL_1}{1+s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1+s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}} L_s \right) + R_S} \end{aligned}$$

Saat matching apabila nilai $S_{11} = 0$ dan akan terpenuhi saat :

$$\left(\frac{sL_1}{1 + s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1 + s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}}L_s \right) - R_S = 0$$

Pada saat resonansi, maka nilai Z_{IN} pada rangkaian tersebut dinyatakan oleh.

$$Re(Z_{IN}) = R_S = \frac{g_m}{C_{gs}}L_s = \omega_T L_s \quad (2.12)$$

$Im(Z_{IN})$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \left. \frac{sL_1}{1 + s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1 + s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}}L_s \right|_{f_1=0.95 \text{ GHz}} \\ \left. \frac{sL_1}{1 + s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1 + s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}}L_s \right|_{f_2=1.85 \text{ GHz}} \\ \left. \frac{sL_1}{1 + s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1 + s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}}L_s \right|_{f_3=2.35 \text{ GHz}} \\ \left. \frac{sL_1}{1 + s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1 + s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1 + s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}}L_s \right|_{f_4=2.35 \text{ GHz}} \end{array} \right\}$$

= 0

Sementara itu, nilai S_{11} saat *matching* akan bernilai kurang dari -10 dB akan memenuhi,

$$20 \log |S_{11}| \leq -10 \text{ dB}$$

$$\log |S_{11}| \leq -0.5$$

$$|S_{11}| \leq 3.16 \quad (2.13)$$

Dengan menyelesaikan pers. (2.13) maka didapatkan batas atas dan batas bawah nilai koefisien refleksi.

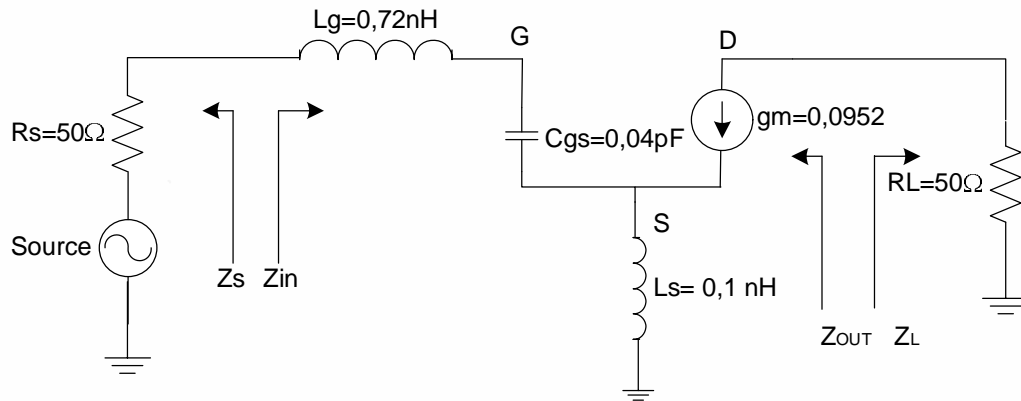
$$-3,16 \leq S_{11} \leq 3,16$$

$$-3,16$$

$$\leq \frac{\left(\frac{sL_1}{1+s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1+s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}}L_s \right) - R_S}{\left(\frac{sL_1}{1+s^2L_1C_1} + \frac{sL_2}{1+s^2L_2C_2} + \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} + \frac{sL_3}{1+s^2L_3C_3} + sL_4 + \frac{1}{sC_4} + sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + \frac{g_m}{C_{gs}}L_s \right) + R_S}$$

$$\leq 3,16$$

Nilai komponen *small signal* dari transistor memenuhi :



Gambar 2.20 Rangkaian Z_{IN} dan S_{11} NE321S01 dengan *small signal*

Sementara itu nilai S_{22} diberikan oleh :

$$S_{22} = \frac{Z_{OUT} - R_L}{Z_{OUT} + R_L}$$

$$= \frac{\left(\frac{1+s.rC_8+s^2L_dC_8}{s(C_8+C_9)+s^2.rC_8C_9+s^3L_dC_8C_9} \right) - R_S}{\left(\frac{1+s.rC_8+s^2L_dC_8}{s(C_8+C_9)+s^2.rC_8C_9+s^3L_dC_8C_9} \right) + R_S} \quad (2.14)$$

Nilai Gain S_{21} diberikan oleh :

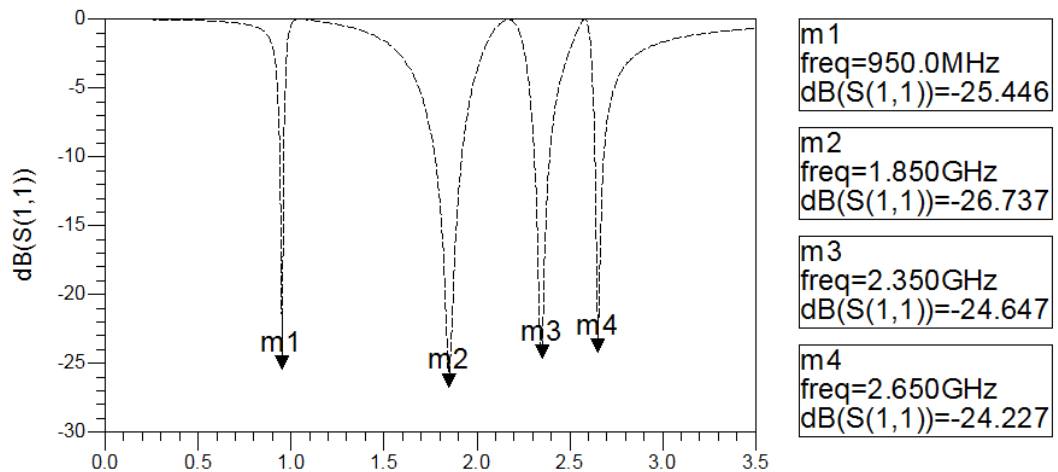
$$S_{21} = 2 A_V$$

$$= 2 \frac{-g_{M1}\omega_o^2}{s^2 + 2 \frac{g_{m1}L_S}{C_{gs1}(L_{G1}+L_{S1})} + \omega_o^2} \cdot \frac{r\omega_{o1}^2 + sL\omega_{o1}^2}{s^2 + 2 \frac{g_{m1}L_S}{C_{gs1}(L_{G1}+L_{S1})} + \omega_o^2} \quad (2.15)$$

Dengan nilai ω_o^2 dan ω_{o1}^2 diberikan oleh :

$$\omega_o^2 = \frac{1}{C_{GS1}(L_{G1} + L_{S1})} \quad (2.16)$$

$$\omega_{o1}^2 = \frac{1}{L(C_1 + C_{GS2})} \quad (2.17)$$

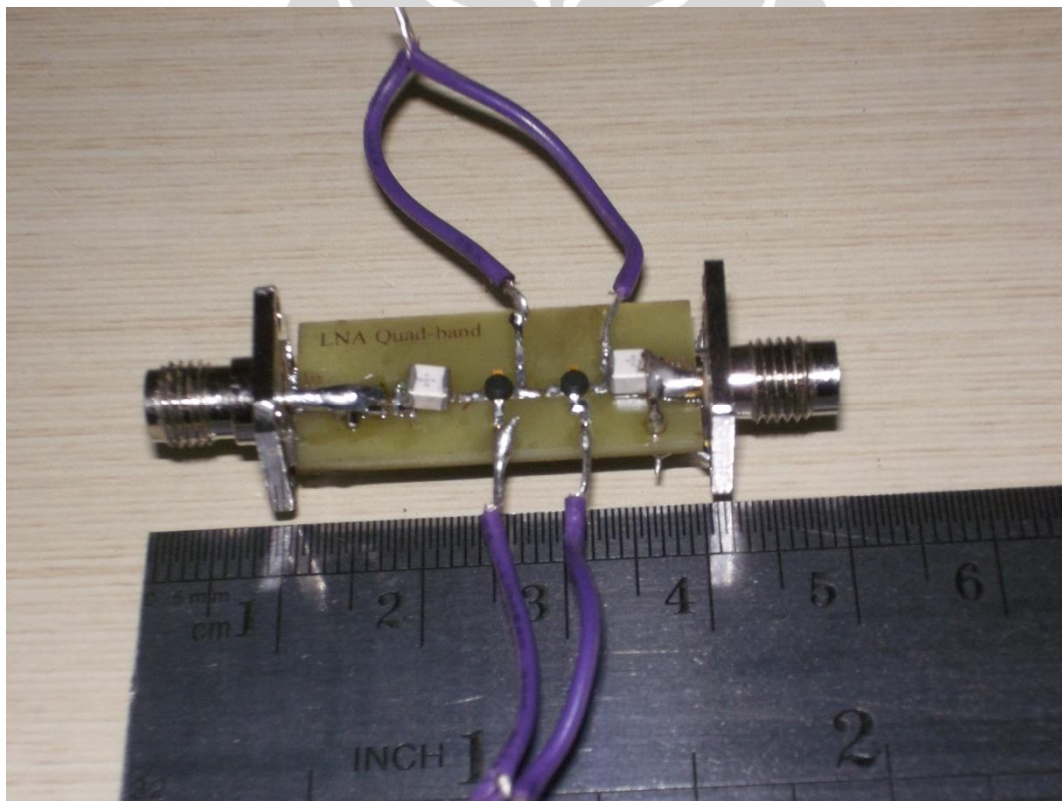


Gambar2.21 Hasil simulasi *return loss* (S_{11})

Pada Gambar 2.21 menunjukkan hasil simulasi *return loss* (S_{11}) terakhir yang didapatkan. Terlihat bahwa secara simulasi, LNA ini telah memiliki nilai *multiband return loss* pada frekuensi 0,95 GHz, 1,85 GHz, 2,35 GHz dan 2,65 GHz yang sesuai dengan standar. Hasil simulasi yang didapatkan ini sudah bersesuaian dengan tujuan yaitu mendapatkan standar *return loss* < -12 dB.

BAB 3 HASIL SIMULASI, PABRIKASI, DAN ANALISA

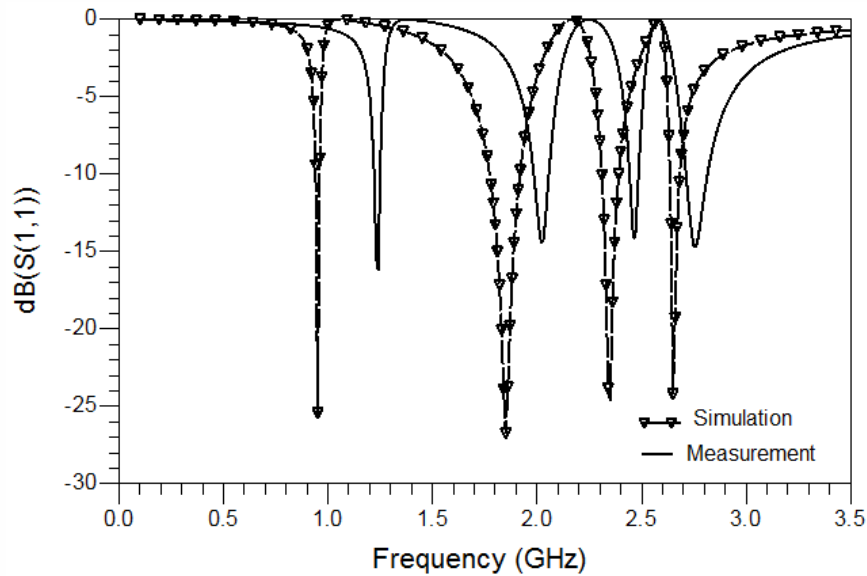
Pada bagian ini akan dibahas kinerja dari desain *concurrent quad band* LNA yang diajukan untuk aplikasi m-BWA. Sementara itu, m-BWA terdiri atas GSM pada frekuensi 950 MHz, WCDMA pada frekuensi 1,85 GHz, WiMAX pada frekuensi 2,35 GHz, dan LTE pada frekuensi 2,65 GHz. Untuk melihat hasil unjuk kerja secara simulasi maka dipergunakan software aplikasi ADS. Pengukuran dilakukan pada ruang **Lab. Telekomunikasi Anechoic Chamber lantai 4 Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**. Hasil pabrikasi terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Hasil pabrikasi *quad-band* LNA

3.1 Hasil dan Analisa *Return Loss* (S_{11})

Hasil simulasi dan pengukuran *return loss* S_{11} rangkaian *Quadband* LNA tampak pada Gambar 3.2. Hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa rangkaian *quadband* LNA mampu beroperasi pada empat frekuensi yang berbeda.



Gambar 3.2 Hasil simulasi dan pengukuran $return\ loss\ S_{11}$

Pada frekuensi GSM, nilai S_{11} pada 950 MHz sebesar -25,4 dB. Sementara pada frekuensi WCDMA, nilai S_{11} pada 1,85 GHz sebesar -26,7 dB. Nilai S_{11} pada WiMAX 2,35 GHz sebesar -24,6 dB. Sementara itu, nilai S_{11} pada LTE 2,65 GHz sebesar -24,2 dB. Sementara itu, hasil pengukuran pada Gambar 3.2 menunjukkan pergeseran frekuensi.

Kinerja pengukuran pada frekuensi 1,205 GHz memiliki nilai $return\ loss\ S_{11} = -16,4\text{ dB}$, pada frekuensi 2,05 GHz memiliki nilai $return\ loss\ S_{11} = -14,5\text{ dB}$, pada frekuensi 2,45 GHz memiliki nilai $return\ loss\ S_{11} = -13,2\text{ dB}$, pada frekuensi 2,75 GHz memiliki nilai $return\ loss\ S_{11} = -14,3\text{ dB}$.

Hasil pengukuran menunjukkan bandwidth yang dihasilkan sebesar

$$BW_{-10\text{dB}} = 40\text{ MHz}$$

$$BW_{-10\text{dB}} = 110\text{ MHz}$$

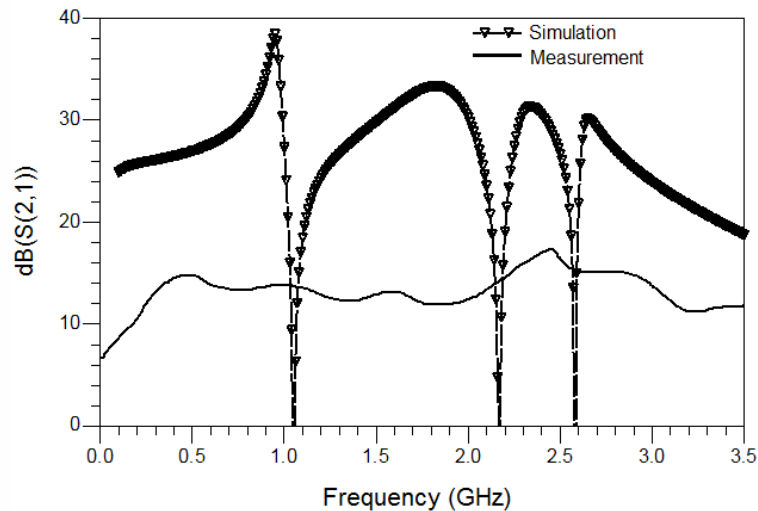
$$BW_{-10\text{dB}} = 100\text{ MHz}$$

$$BW_{-10\text{dB}} = 130\text{ MHz}$$

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. Karena memiliki nilai $return\ loss$ kurang dari -10 dB.

3.2 Hasil dan Analisa Gain (S_{21})

Hasil simulasi dan pengukuran $gain S_{21}$ rangkaian *quadband* LNA tampak pada Gambar3.3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangkaian *quadband* LNA mampu beroperasi pada empat frekuensi yang berbeda.



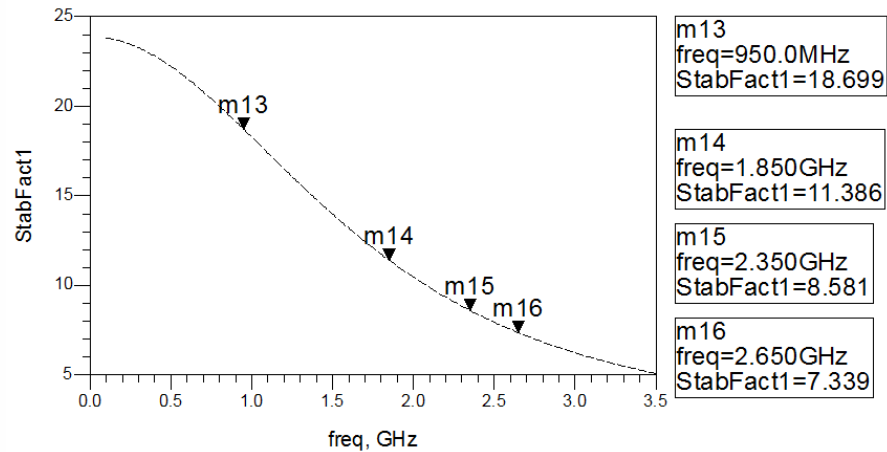
Gambar3.3 Hasil simulasi dan pengukuran $gain S_{21}$

Pada frekuensi GSM, nilai S_{21} pada 950 MHz sebesar 38,42 dB. Sementara pada frekuensi WCDMA, nilai S_{21} pada 1,85 GHz sebesar 33,24 dB. Nilai S_{21} pada WIMAX 2,35 GHz sebesar 31,24 dB. Sementara itu, nilai S_{21} pada LTE 2,65 GHz sebesar 30,13 dB. Hasil simulasi menunjukkan nilai gain pada semua frekuensi kerja sebesar lebih dari 12 dB. Hal ini menunjukkan bahwa nilai gain tersebut sudah sesuai bahkan melampaui spesifikasi yang rencanakan dalam perancangan yaitu > 12 dB.

Hasil pengukuran pada frekuensi 1,205 GHz $gain S_{21} = 12,1$ dB, kinerja LNA pada frekuensi 2,05 GHz $gain S_{21} = 11,2$ dB, kinerja LNA pada frekuensi 2,45 GHz, $gain S_{21} = 18,7$ dB, kinerja LNA pada frekuensi 2,75 GHz memiliki nilai $gain S_{21} = 15,3$ dB.

3.3 Hasil dan analisa Kestabilan (K)

Hasil simulasi kestabilan (K) rangkaian *Quadband* LNA tampak pada Gambar 3.4. Nilai kestabilan ini hanya disimulasikan.

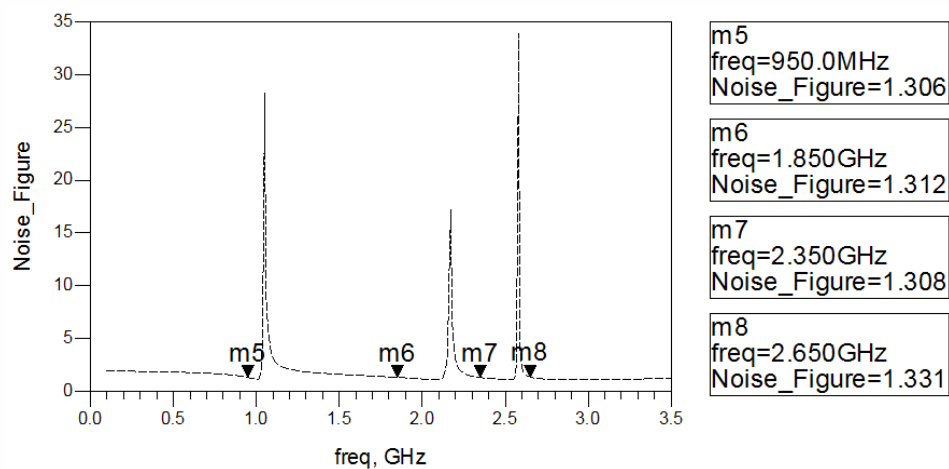


Gambar3.4 Kestabilan (K)

Pada frekuensi GSM, nilai K pada 950 MHz sebesar 18,69. Sementara pada frekuensi WCDMA, nilai K pada 1,85 GHz sebesar 11,38. Nilai K pada WIMAX 2,35 GHz sebesar 8,58. Sementara itu, nilai K pada LTE 2,65 GHz sebesar 7,33. Nilai kestabilan pada masing-masing frekuensi telah mencapai kondisi *unconditionally stable* yang berarti transistor ini sangat kecil kemungkinan untuk beresilasi hasil simulasi kestabilan (K). Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai ini mencukupi spesifikasi yang diharapkan, yaitu minimal memiliki $K > 1$ pada frekuensi kerjanya.

3.4 Hasil dan analisa *Noise Figure*

Parameter selanjutnya yang akan diperiksa adalah *noise figure*. Hasil simulasi *noise figure* NF(2) rangkaian *Quadband* LNA terlihat pada Gambar3.5.



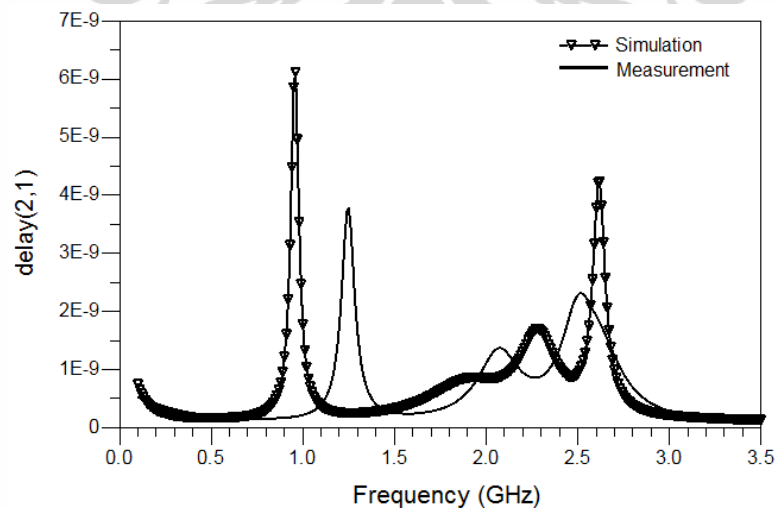
Gambar3.5 Noise Figure NF(2)

Pada frekuensi 950 MHz sebesar 1,306. Sementara pada 1,85 GHz sebesar 1,31. Selain itu, pada frekuensi 2,35 GHz sebesar 1,30. Nilai NF pada 2,65 GHz sebesar 1,33. Nilai *noise figure* pada masing-masing frekuensi telah mencapai kondisi yang diharapkan, yaitu memiliki *noise figure* < 3 dB pada semua frekuensi kerjanya.

3.5 Hasil dan analisa *Group Delay*

Nilai group delay dari rangkaian *Quadband LNA*, hasilnya sebagaimana terlihat pada Gambar 3.6 dibawah ini.

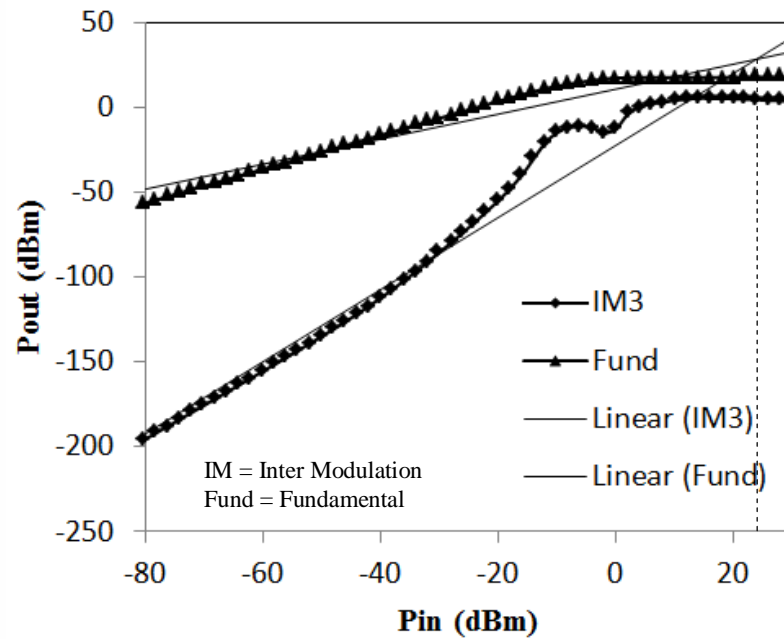
Gambar 3.6 memperlihatkan hasil group delay pada *multiband* frekuensi. Hasilnya menunjukan nilai pada frekuensi GSM, nilai Group delay pada 950 MHz sebesar 5,8 ns. Sementara pada frekuensi WCDMA, nilai group delay pada 1,85 GHz sebesar 0,8 ns. Sementara pada frekuensi WIMAX, nilai group delay pada 2,35 GHz sebesar 0,13 ns. Selain itu, pada frekuensi LTE, nilai group delay pada 2,65 GHz sebesar 0,30 ns. Sementara itu, hasil pengukuran group delay terlihat pada Gambar 3.6. Nilai group delay yang rendah menandakan bahwa hampir tidak ada perubahan phase pada LNA tersebut.



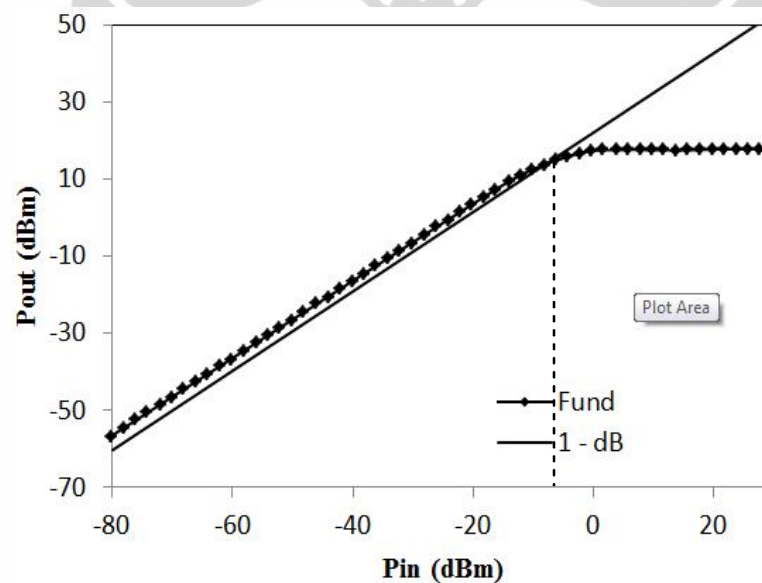
Gambar 3.6 Hasil simulasi dan pengukuran group delay

3.6 Hasil IIP3 dan Kompresi 1-dB

Pada Gambar 3.7 dan 3.8 memperlihatkan nilai IIP3 dan kompresi 1-dB dari LNA pada frekuensi 0,95 GHz untuk melihat tingkat linearitas sebuah LNA.



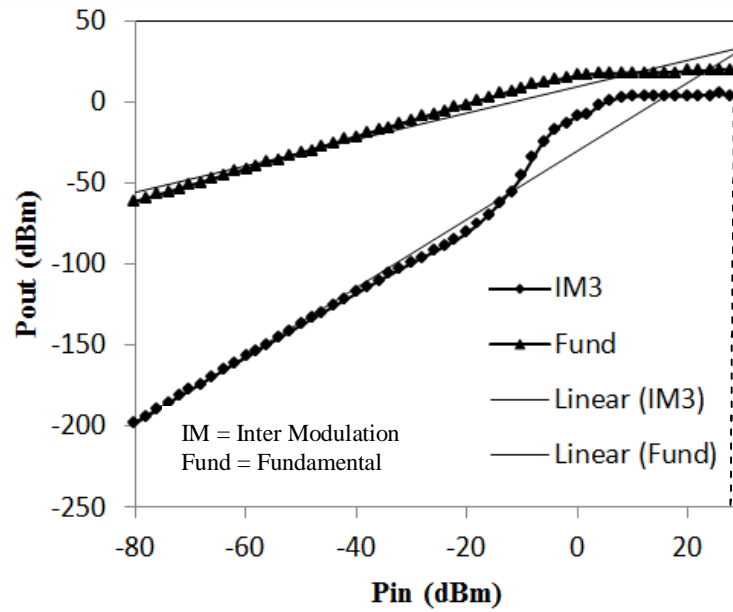
Gambar 3.7 Nilai IIP3 pada frekuensi 950 MHz



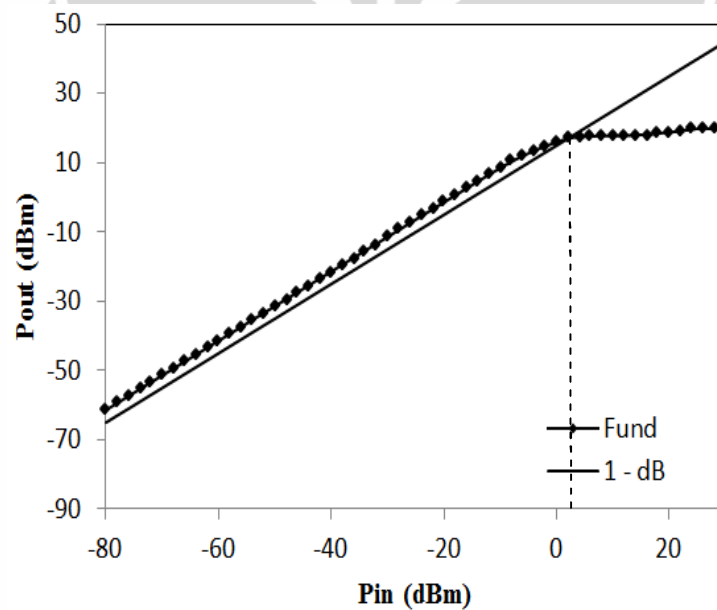
Gambar 3.8 Kompresi 1-dB pada 950 MHz

Pada frekuensi 950 MHz nilai IIP3 sebesar 22 dBm sementara itu nilai 1-dB kompresi sebesar -7 dBm. Hal ini menunjukkan tingkat linearitas yang tinggi dari LNA tersebut.

Pada Gambar 3.9 dan 3.10 memperlihatkan nilai IIP3 dan kompresi 1-dB dari LNA pada frekuensi 1,85 GHz.



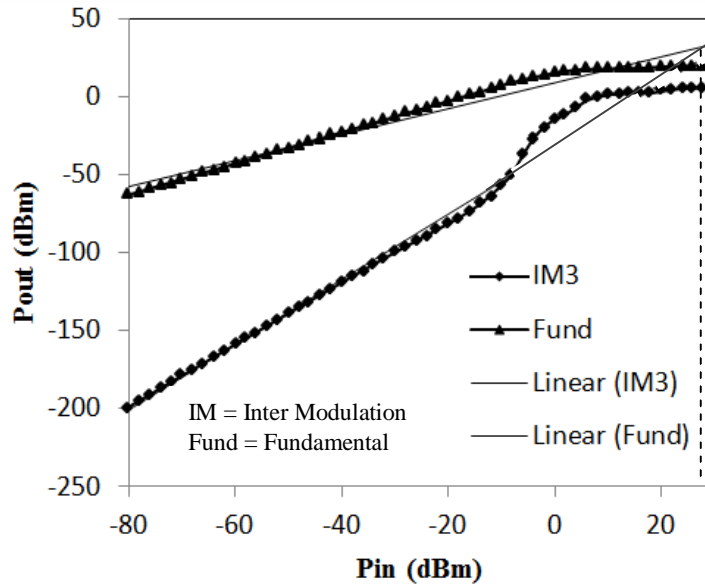
Gambar 3.9 Nilai IIP3 pada frekuensi 1,850 GHz



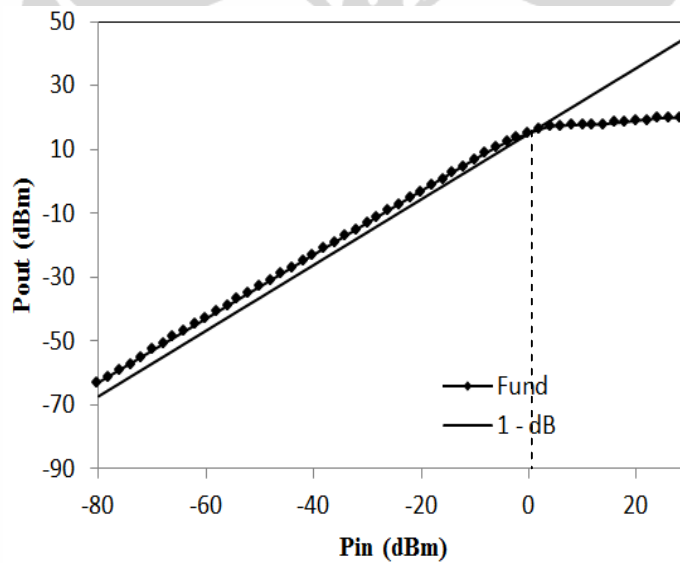
Gambar 3.10 Kompresi 1-dB pada 1,85 GHz

Pada frekuensi 1,85 GHz nilai IIP3 sebesar 24 dBm sementara itu nilai 1-dB kompresi sebesar 2 dBm. Hal ini menunjukkan tingkat linearitas yang tinggi dari LNA tersebut.

Pada Gambar 3.11 dan 3.12 memperlihatkan nilai IIP3 dan kompresi 1-dB dari LNA pada frekuensi 2,35 GHz .



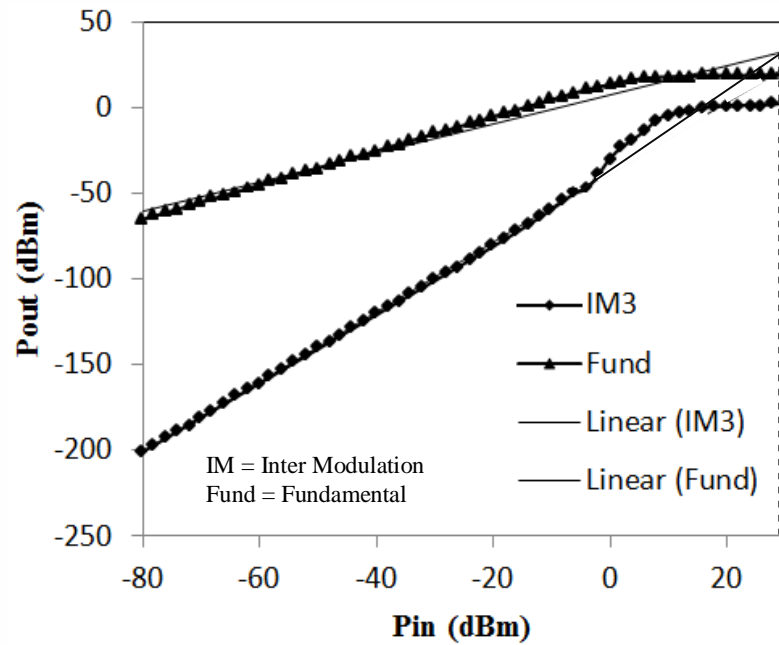
Gambar 3.11 Nilai IIP3 pada frekuensi 2,35 GHz



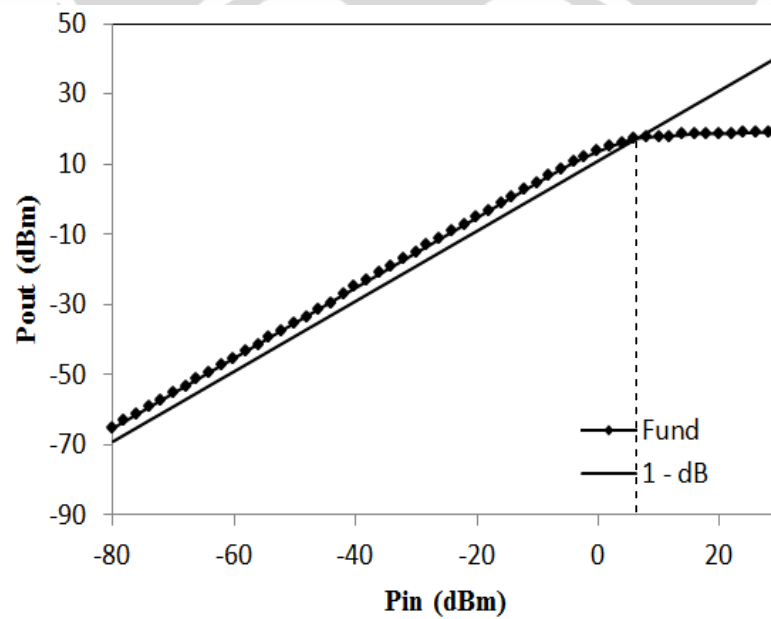
Gambar 3.12 Kompresi 1-dB pada 2,35 GHz

Pada frekuensi 2,35 GHz nilai IIP3 sebesar 24 dBm sementara itu nilai 1-dB kompresi sebesar 0,2 dBm. Hal ini menunjukkan tingkat linearitas yang tinggi dari LNA tersebut.

Pada Gambar 3.13 dan 3.14 memperlihatkan nilai IIP3 dan kompresi 1-dB dari LNA pada frekuensi 2,65 GHz.



Gambar 3.13 Nilai IIP3 pada frekuensi 2,65 GHz

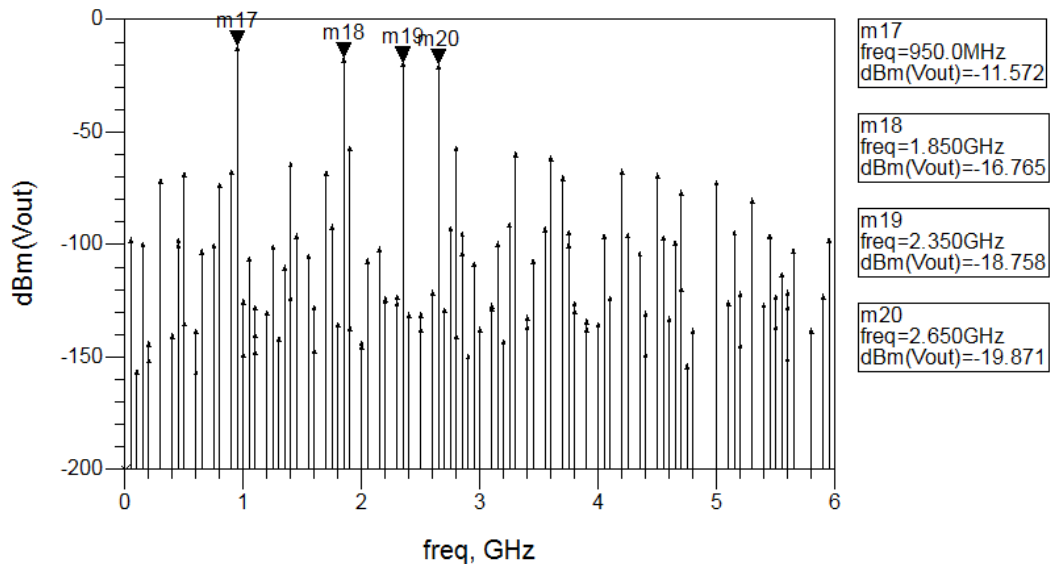


Gambar 3.14 Kompresi 1-dB pada 2,65 GHz

Pada frekuensi 2,65 GHz nilai IIP3 sebesar 25 dBm sementara itu nilai 1-dB kompresi sebesar 3 dBm. Hal ini menunjukkan tingkat linearitas yang tinggi dari LNA tersebut.

3.7 Hasil Spektrum Output

Pada Gambar 3.15 diperlihatkan spektrum *output* pada *quadband* LNA, terlihat bahwa LNA tersebut bekerja pada empat frekuensi yang berbeda secara simultan.



Gambar 3.15 Spectrum Power Output

3.8 Figure of Merit Multiband LNA

Perumusan *figure of merit* (FoM) dari LNA diberikan oleh

$$\text{FoM [mW}^{-1}] = \frac{\text{Gain [abs]}}{(\text{NF} - 1)[\text{abs}] \cdot P_{\text{DC}}[\text{mW}]} \quad (3.1)$$

Tabel 3.1 memperlihatkan nilai perbandingan kinerja dan nilai FoM dari LNA yang didesain dengan hasil yang lain.

Tabel 3.1 Perbandingan kinerja dan FoM multiband LNA

Parameter	Reference						Propose			
	[3]		[4]		[5]					
Type	<i>Concurrent Simultaneous</i>									
f_0 (GHz)	2,45	5,2	2,4	3,5	1,8	2,4	0,95	1,85	2,35	2,65
S_{21} (dB)	14	15,5	11,7	11,7	10,1	10,8	38,4	33,2	31,2	30,1

NF (dB)	2,3	4,5	3,8	4,0	3,69	4,75	1,3	1,31	1,3	1,33
Power (mW)	97,9	97,7	37,9	37,9	13,9	13,9	67	67	67	67
FoM (mW ⁻¹)	0,11	0,035	0,11	0,10	0,27	0,207	1,91	1,59	1,55	1,36

LNA yang diusulkan masih tergolong lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya.

Sementara itu, bergesernya frekuensi dapat disebabkan oleh penggunaan bahan substrat yang cukup buruk kualitasnya, rugi-rugi bahan, dan desain yang kurang efektif. Untuk mengatasi hal ini, pada proses perancangan sebaiknya menggunakan bahan substrat dengan nilai konstanta dielektrik yang lebih rendah yang lebih baik secara kualitas dan untuk menunjang nilai penguatan. Pemilihan bahan dengan konstanta dielektrik yang lebih rendah didasarkan pada keterkaitan antara rugi-rugi yang terjadi dengan nilai konstanta dielektrik dari substrat. Secara teori, dengan nilai rasio h/λ sama, semakin besar nilai konstanta dielektrik bahan semakin besar pula rugi-rugi yang dihasilkan. Penurunan kinerja ini juga dapat diakibatkan oleh penyolderan yang tidak matang, pergeseran kaki-kaki komponen maupun poses peng *etching* an yang tidak sempurna.

BAB 4

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dilakukan perancangan *concurrent quadband* LNA yang bekerja pada frekuensi 0,95 GHz, 1,85 GHz, 2,35 GHz dan 2,65 GHz untuk aplikasi GSM, WCDMA, WiMAX dan LTE menggunakan *LC resonator*.

1. Perancangan dilakukan menggunakan Advance Design System (ADS) kemudian dipabrikasi menggunakan substrat FR4.
2. Kinerja hasil perancangan menunjukkan kinerja LNA pada frekuensi 0,95 GHz untuk GSM diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -25,4$ dB, *gain* $S_{21} = 38,42$ dB, *stability* $K = 18,6$, $NF = 1,3$ dB, $VSWR = 1,1$, dan FoM sebesar 1,91. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 1,85 GHz untuk WCDMA diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -26,7$ dB, *gain* $S_{21} = 33,24$ dB, *stability* $K = 11,3$, $NF = 1,31$ dB, $VSWR = 1,09$, dan FoM sebesar 1,59. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 2,35 GHz untuk WiMAX diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -24,6$ dB, *gain* $S_{21} = 31,24$ dB, *stability* $K = 8,5$, $NF = 1,3$ dB, $VSWR = 1,24$, dan FoM sebesar 1,55. Kinerja LNA pada frekuensi 2,65 GHz untuk LTE diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -16,1$ dB, *gain* $S_{21} = 30,13$ dB, *stability* $K = 7,3$, $NF = 1,33$ dB, $VSWR = 1,13$, dan FoM sebesar 1,36.
3. Hasil pengukuran pada frekuensi 1,205 GHz memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -16,4$ dB, *gain* $S_{21} = 12,1$ dB, *stability* $K = 18,6$, $NF = 1,3$ dB, $VSWR = 1,1$, dan *group delay* sebesar 4 ns. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 2,05 GHz untuk WCDMA diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -14,5$ dB, *gain* $S_{21} = 11,2$ dB, dan *group delay* sebesar 1 ns. Sementara itu, kinerja LNA pada frekuensi 2,45 GHz untuk WiMAX diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -13,2$ dB, *gain* $S_{21} = 18,7$ dB, dan *group delay* sebesar 2 ns. Kinerja LNA pada frekuensi 2,75 GHz untuk LTE diantaranya memiliki nilai *return loss* $S_{11} = -14,3$ dB, *gain* $S_{21} = 15,3$ dB, dan *group delay* sebesar 2 ns. Hasil pengukuran menunjukkan nilai gain yang turun dapat disebabkan rugi rugi akibat penyolderan maupun ketidakidealan konektor yang dipakai.

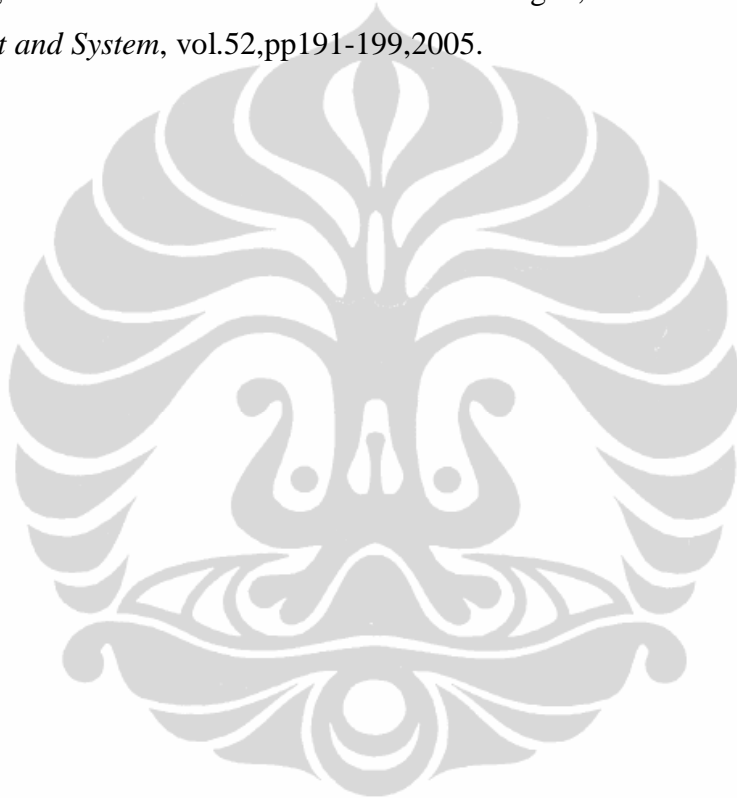
4. Hasil perhitungan Figure of Merit menunjukan bahwa LNA yang dirancang memiliki nilai FoM lebih besar dari beberapa LNA yang lain. Sementara itu, hasil pabrikan menunjukan pergeseran frekuensi.



DAFTAR REFERENSI

- [1] Mustaffa. Taffir, “A Reconfigurable Low Noise Amplifier for Multistandard Receiver”. Ph.D. Dissertation. Victoria University. Australia. 2009.
- [2] Hasemi. Hosein, “Integrated Concurrent Multiband Radios and Multiple Antenna System”. Ph.D. Dissertation. California Institute of Technology. California. September 2005.
- [3] Hossein Hasemi, “Concurrent Dual-Band CMOS Low Noise Amplifier and Receiver Architecture”. IEEE Symposium on VLSI Circuit. 2001.
- [4] Chih, Yuan. “A concurrent Multiband Low Noise Amplifier for WLAN/WiMAX Application”. IEEE Explore 2008.
- [5] Cristina. “Design Of A Fully Integrated Concurrent Triple Band CMOS Low Noise Amplifier”. IEEE Explore. 2004.
- [6] Chyuen-Wei, “A Multiband CMOS Low Noise Amplifier for Multi-Standard Wireless Receiver” IEEE Symposium on VLSI Circuit. 2007.
- [7] Firmansyah, Teguh. “Rancang Bangun Concurrent Multiband LNA menggunakan Multisection Impedance Transformer”. Magister Thesis. UI. 2011.
- [8] Dirjen Postel. “Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Telekomunikasi Broadband Wireless Access (BWA).
- [9] Behzad, Arya. “Wireless LAN Radios : System Defenition to Transistor Design”. IEEE Press. Jhon Wiley. 2007.
- [10] Adiseno, “Design Aspect of Fully Integrated Multiband Multistandard Front-End Receiver”. Ph.D. Dissertation. Royal Institute of Technology. Stockholm. 2003.
- [11] Noori. Hossein, “Reconfigurable RF Receiver Frontends for Multistandard Radio” M.S. Thesis. Auburn University. Alabama. Mei 2011.
- [12] Hashemi, H. and A. Hajimiri, “Concurrent multiband low-noise amplifiers — Theory, design, and applications,” *IEEE Trans. Microw. Theory*

- Tech.*, Vol.50, No.1, 288–301, 2002.
- [13] Boylestad, Robert. *Electronic Devices and Circuit Theory*. New Jersey : Prentice Hall, Inc. 2002.
- [14] Wang, Tao. ,”Micromachined CMOS LNA and VCO by CMOS-Compatible ICP deep trench Technology”. *IEEE Transaction Microwave technology*. 2006.
- [15] Shey, Shi Lu. ,”The Determination of S-Parameters From the Poles of Voltage-Gain Transfer Function for RFIC Design”, *IEEE Transaction On Circuit and System*, vol.52, pp191-199, 2005.

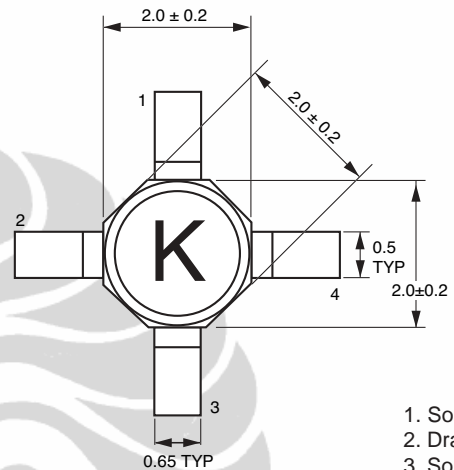


FEATURES

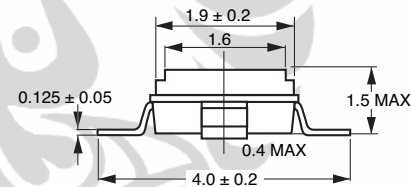
- **SUPER LOW NOISE FIGURE:**
0.35 dB TYP at $f = 12$ GHz
- **HIGH ASSOCIATED GAIN:**
13.5 dB TYP at $f = 12$ GHz
- **GATE LENGTH:** $L_G \leq 0.20 \mu\text{m}$
- **GATE WIDTH:** $W_G = 160 \mu\text{m}$

OUTLINE DIMENSION (Units in mm)

PACKAGE OUTLINE S01



1. Source
2. Drain
3. Source
4. Gate



DESCRIPTION

NEC's NE3210S01 is a pseudomorphic Hetero-Junction FET that uses the junction between Si-doped AlGaAs and undoped InGaAs to create very high mobility electrons. The device features mushroom shaped TiAl gates for decreased gate resistance and improved power handling. Its excellent low noise figure and high associated gain make it suitable for DBS and commercial systems. The NE 3210S01 is housed in a low cost plastic package which is available in tape and reel.

NEC's stringent quality assurance and test procedures assure the highest reliability and performance.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

PART NUMBER PACKAGE OUTLINE			NE3210S01 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
g_m	Transconductance, $V_{DS} = 2$ V, $I_D = 10$ mA	mS	40	55	
I_{DSS}	Saturated Drain Current, $V_{DS} = 2$ V, $V_{GS} = 0$ V	mA	15	40	70
V_P	Gate to Source Cutoff Voltage, $V_{DS} = 2$ V, $I_D = 100 \mu\text{A}$	V	-0.2	-0.7	-2.0
I_{GSO}	Gate to Source Leakage Current, $V_{GS} = -3$ V	μA		0.5	10

Note:

1. Typical values of noise figures and associated gain are those obtained when 50% of the devices from a large number of lots were individually measured in a circuit with the input individually tuned to obtain the minimum value. Maximum values are criteria established on the production line as a "go-no-go" screening tuned for the "generic" type but not each specimen.

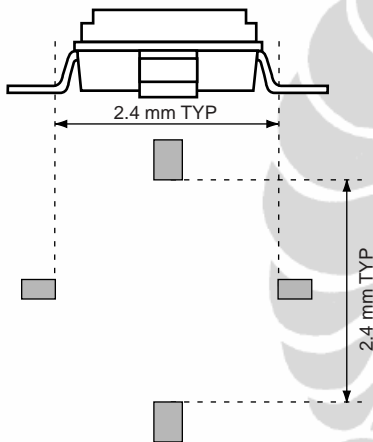
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹ (T_A = 25°C)

SYMBOLS	PARAMETERS	UNITS	RATINGS
V _{DS}	Drain to Source Voltage	V	4.0
V _{GS}	Gate to Source Voltage	V	-3.0
I _{DS}	Drain Current	mA	I _{DSS}
I _{GS}	Gate Current	μA	100
P _T	Total Power Dissipation	mW	165
T _{CH}	Channel Temperature	°C	125
T _{STG}	Storage Temperature	°C	-65 to +125

Note:

1. Operation in excess of any one of these parameters may result in permanent damage.

TYPICAL MOUNT PAD LAYOUT (Units in mm)



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS (T_A = 25°C)

PART NUMBER			NE3210S01		
SYMBOLS	PARAMETERS	UNITS	MIN	TYP	MAX
V _{DS}	Drain to Source Voltage	V		2	3
I _{DS}	Drain Current	mA		10	15
P _{IN}	Input Power	dBm			0

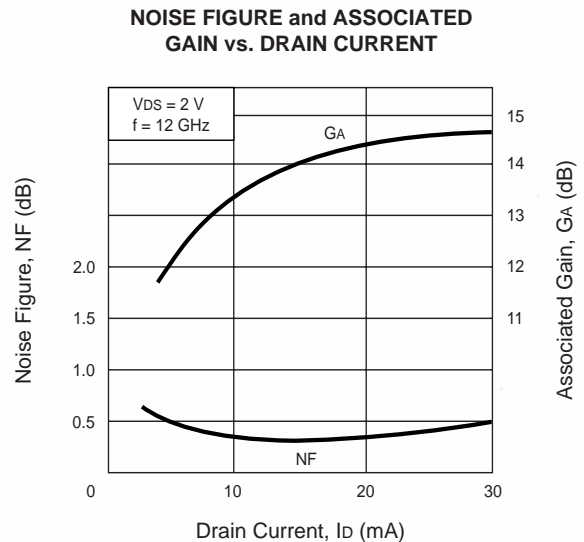
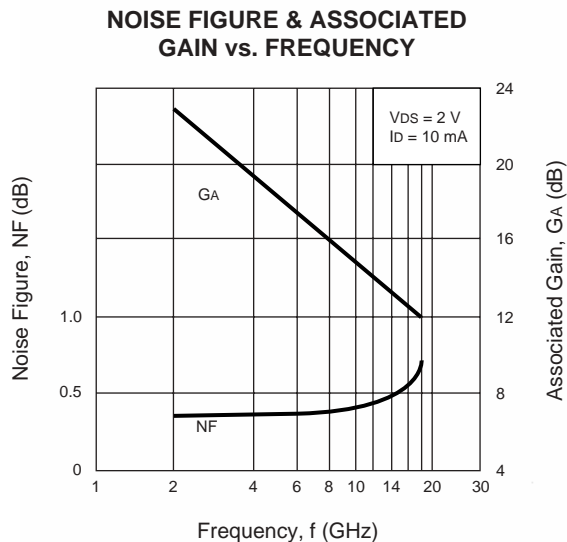
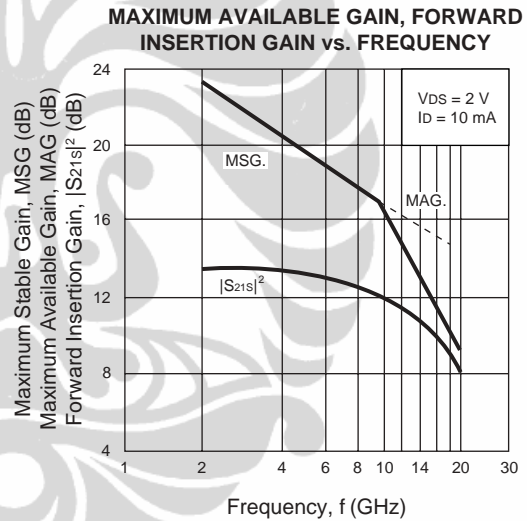
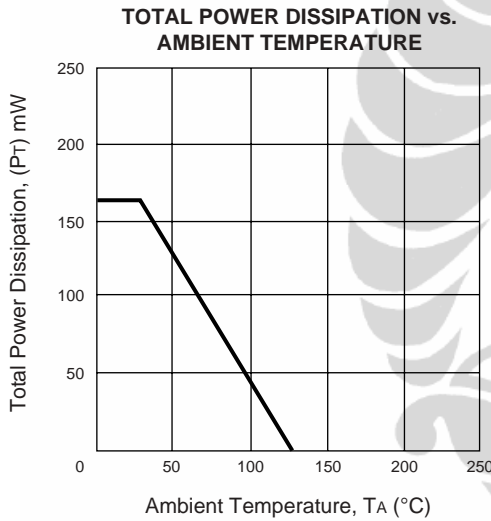
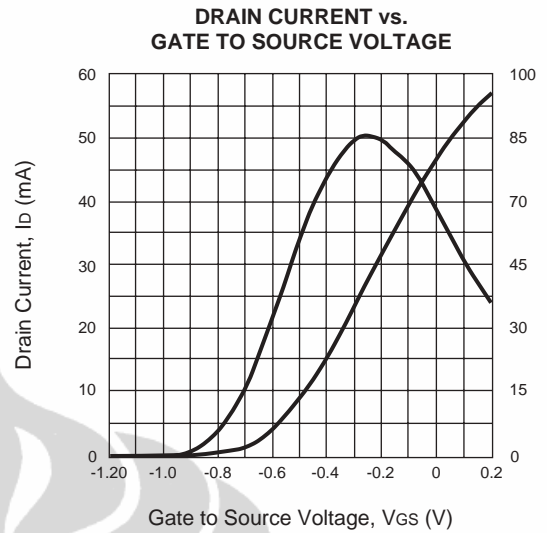
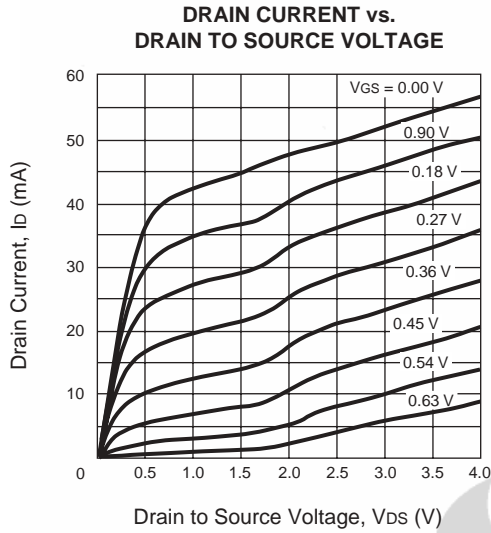
TYPICAL NOISE PARAMETERS (T_A = 25°C)

FREQ. (GHz)	NF _{MIN} (dB)	G _A (dB)	Γ _{OPT}		R _n /50
			MAG	ANG	
V_{DS} = 2 V, I_D = 10 mA					
2.0	0.25	21.2	0.94	12	0.38
4.0	0.26	19.5	0.80	26	0.33
6.0	0.28	18.2	0.66	44	0.26
8.0	0.30	16.2	0.50	68	0.18
10.0	0.32	14.7	0.38	97	0.11
12.0	0.34	13.5	0.29	133	0.09
14.0	0.42	12.9	0.27	177	0.08
16.0	0.56	12.3	0.33	-129	0.11
18.0	0.72	11.9	0.39	-82	0.23

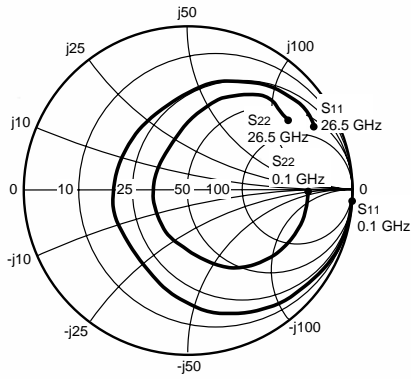
ORDERING INFORMATION

PART NUMBER	SUPPLY FORM	MARKING
NE3210S01-T1	Tape & Reel 1000 pcs/reel	
NE3210S01-T1B	Tape & Reel 4000 pcs/reel	

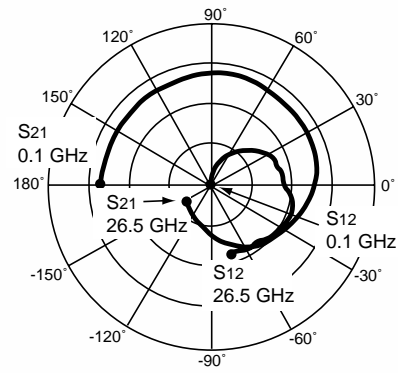
TYPICAL PERFORMANCE CURVES (TA = 25°C)



TYPICAL SCATTERING PARAMETERS (TA = 25°C)



Coordinates in Ohms
Frequency in GHz
Vd = 2 V, Id = 5 mA



NE3210S01
Vd = 2 V, Id = 5 mA

FREQUENCY	S11		S21		S12		S22		K	MAG ¹
GHz	MAG	ANG	MAG	ANG	MAG	ANG	MAG	ANG		(dB)
0.10	1.001	-1.14	3.405	178.54	0.001	82.96	0.732	-0.85	-0.03	34.20
0.20	1.000	-2.12	3.393	177.73	0.003	88.10	0.731	-1.97	0.00	30.64
0.30	1.000	-3.08	3.393	176.83	0.004	88.76	0.732	-3.04	-0.03	28.99
0.40	0.999	-4.18	3.396	175.50	0.006	86.87	0.732	-3.93	0.04	27.65
0.50	0.997	-4.94	3.345	173.68	0.007	85.87	0.735	-4.73	0.08	26.76
0.70	0.995	-6.83	3.347	171.18	0.010	84.12	0.735	-6.68	0.11	25.30
1.00	0.992	-10.11	3.350	167.44	0.014	81.51	0.732	-9.24	0.12	23.77
1.50	0.987	-15.20	3.346	161.27	0.021	77.55	0.726	-13.91	0.15	22.03
2.00	0.978	-20.81	3.362	154.97	0.028	73.36	0.718	-18.29	0.19	20.82
2.50	0.968	-26.46	3.373	148.74	0.035	69.02	0.709	-22.77	0.23	19.89
3.00	0.954	-32.09	3.388	142.45	0.041	64.57	0.698	-27.41	0.27	19.15
3.50	0.938	-37.61	3.386	136.09	0.047	59.71	0.685	-32.00	0.33	18.54
4.00	0.920	-43.04	3.381	129.89	0.053	54.85	0.670	-36.40	0.39	18.06
5.00	0.879	-53.83	3.378	117.91	0.062	45.72	0.638	-44.54	0.50	17.34
6.00	0.835	-64.32	3.428	106.08	0.070	38.30	0.604	-52.54	0.60	16.93
7.00	0.778	-77.53	3.525	92.97	0.081	29.68	0.553	-62.26	0.68	16.40
8.00	0.680	-92.29	3.539	78.21	0.086	17.34	0.469	-73.32	0.89	16.15
9.00	0.589	-109.87	3.527	63.32	0.091	7.85	0.398	-86.69	1.03	14.86
10.00	0.505	-127.92	3.432	49.90	0.089	0.93	0.335	-97.84	1.22	13.05
11.00	0.481	-149.57	3.490	35.80	0.096	-2.08	0.302	-114.77	1.14	13.32
12.00	0.461	-175.91	3.442	19.40	0.104	-10.23	0.250	-139.98	1.11	13.13
13.00	0.453	155.80	3.273	3.28	0.107	-18.84	0.210	-173.02	1.16	12.40
14.00	0.468	129.34	3.017	-12.03	0.104	-26.21	0.214	151.67	1.27	11.50
15.00	0.521	109.11	2.774	-25.92	0.102	-31.03	0.256	126.40	1.30	11.09
16.00	0.587	92.69	2.545	-39.53	0.098	-35.03	0.309	109.03	1.30	10.89
17.00	0.658	79.53	2.325	-53.80	0.098	-38.38	0.389	95.15	1.18	11.16
18.00	0.720	68.06	2.045	-67.87	0.096	-43.64	0.476	82.56	1.10	11.42
19.00	0.762	58.38	1.773	-79.76	0.093	-47.93	0.553	74.44	1.03	11.69
20.00	0.793	51.94	1.537	-89.63	0.089	-50.59	0.603	67.90	1.02	11.62
21.00	0.819	48.37	1.366	-97.66	0.089	-52.07	0.640	62.36	0.94	11.85
22.00	0.849	43.44	1.238	-106.37	0.090	-56.92	0.685	57.59	0.77	11.36
23.00	0.866	38.86	1.124	-116.19	0.089	-63.10	0.721	52.26	0.65	11.02
24.00	0.863	34.84	1.009	-124.88	0.087	-67.53	0.748	48.09	0.63	10.67
25.00	0.868	29.14	0.949	-132.34	0.084	-71.30	0.751	46.97	0.60	10.54
26.00	0.865	28.40	0.918	-138.91	0.086	-71.66	0.736	40.30	0.66	10.26
26.50	0.859	28.76	0.895	-143.63	0.084	-74.09	0.744	34.46	0.69	10.25

Note:

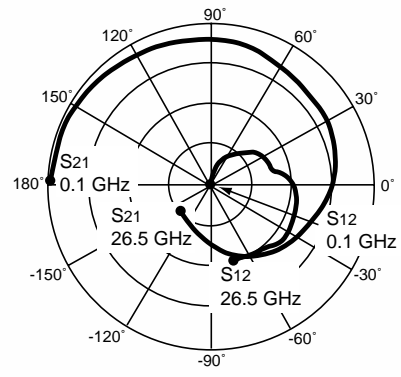
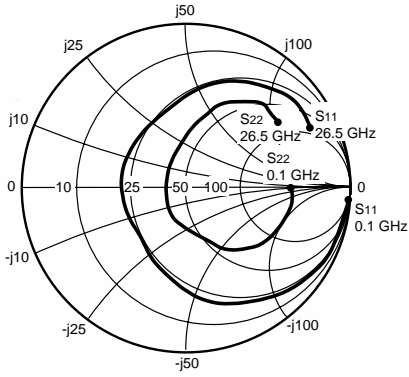
1. Gain Calculation:

$$MAG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K \pm \sqrt{K^2 - 1})$$

When $K \leq 1$, MAG is undefined and MSG values are used. $MSG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}$, $K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 |S_{12} S_{21}|}$, $\Delta = S_{11} S_{22} - S_{21} S_{12}$

MAG = Maximum Available Gain
MSG = Maximum Stable Gain

TYPICAL SCATTERING PARAMETERS (TA = 25°C)



Coordinates in Ohms
Frequency in GHz
VD = 2 V, ID = 10 mA

NE3210S01

VD = 2 V, ID = 10 mA

FREQUENCY	S11		S21		S12		S22		K	MAG ¹
GHz	MAG	ANG	MAG	ANG	MAG	ANG	MAG	ANG		(dB)
0.10	1.000	-1.27	4.899	178.46	0.001	88.31	0.654	-0.82	-0.03	36.47
0.20	1.000	-2.34	4.887	177.42	0.003	87.85	0.653	-2.00	-0.01	32.67
0.30	1.000	-3.43	4.884	176.29	0.004	88.67	0.653	-3.07	-0.01	31.02
0.40	0.999	-4.65	4.886	174.90	0.005	86.60	0.654	-3.96	0.04	29.78
0.50	0.996	-5.48	4.814	172.98	0.006	85.34	0.658	-4.64	0.10	28.83
0.70	0.993	-7.58	4.812	170.21	0.009	84.29	0.657	-6.56	0.13	27.34
1.00	0.989	-11.19	4.806	166.08	0.013	81.96	0.654	-9.07	0.16	25.79
1.50	0.980	-16.80	4.787	159.23	0.019	78.12	0.647	-13.65	0.19	24.05
2.00	0.967	-22.91	4.785	152.33	0.025	74.21	0.638	-17.91	0.25	22.83
2.50	0.951	-29.06	4.770	145.49	0.031	70.41	0.628	-22.27	0.30	21.88
3.00	0.931	-35.15	4.754	138.61	0.037	65.91	0.614	-26.72	0.36	21.12
3.50	0.908	-41.09	4.713	131.78	0.042	61.37	0.599	-31.08	0.43	20.49
4.00	0.882	-46.86	4.663	125.12	0.047	56.77	0.583	-35.15	0.50	19.99
5.00	0.825	-58.15	4.565	112.41	0.055	48.65	0.549	-42.36	0.64	19.22
6.00	0.766	-68.97	4.529	100.03	0.061	42.30	0.515	-49.21	0.75	18.73
7.00	0.694	-82.82	4.537	86.54	0.070	34.76	0.463	-57.82	0.84	18.10
8.00	0.582	-97.90	4.418	71.98	0.074	24.44	0.380	-66.37	1.06	16.21
9.00	0.488	-116.40	4.301	57.78	0.079	16.93	0.314	-77.56	1.18	14.77
10.00	0.407	-135.11	4.109	45.24	0.080	12.32	0.261	-85.89	1.33	13.66
11.00	0.394	-158.15	4.111	31.91	0.091	9.33	0.230	-102.84	1.21	13.79
12.00	0.391	173.89	3.994	16.52	0.102	1.30	0.173	-129.97	1.15	13.56
13.00	0.406	144.90	3.761	1.58	0.108	-7.33	0.132	-172.68	1.16	12.97
14.00	0.441	119.35	3.455	-12.50	0.109	-14.99	0.151	140.72	1.21	12.22
15.00	0.507	101.09	3.183	-25.26	0.111	-21.27	0.208	114.68	1.20	11.89
16.00	0.578	86.36	2.934	-37.87	0.109	-26.89	0.269	98.87	1.18	11.74
17.00	0.652	74.71	2.701	-51.30	0.110	-32.42	0.352	87.44	1.09	12.09
18.00	0.718	64.03	2.400	-64.66	0.108	-39.12	0.440	76.72	1.02	12.66
19.00	0.761	54.95	2.110	-75.90	0.105	-44.73	0.517	69.92	0.97	13.03
20.00	0.790	48.81	1.857	-85.48	0.100	-48.33	0.564	64.15	0.96	12.68
21.00	0.812	45.64	1.679	-93.42	0.100	-50.92	0.597	59.30	0.91	12.25
22.00	0.841	41.18	1.540	-102.29	0.100	-56.31	0.640	55.17	0.77	11.86
23.00	0.857	36.68	1.418	-112.28	0.098	-62.75	0.675	50.52	0.67	11.60
24.00	0.851	32.71	1.291	-121.28	0.095	-67.41	0.702	46.98	0.65	11.32
25.00	0.856	27.01	1.229	-129.13	0.092	-71.40	0.706	46.39	0.61	11.24
26.00	0.849	26.42	1.202	-136.41	0.094	-72.43	0.688	40.12	0.65	11.05
26.50	0.843	26.81	1.180	-141.30	0.093	-74.92	0.694	34.43	0.66	11.04

Note:

1. Gain Calculation:

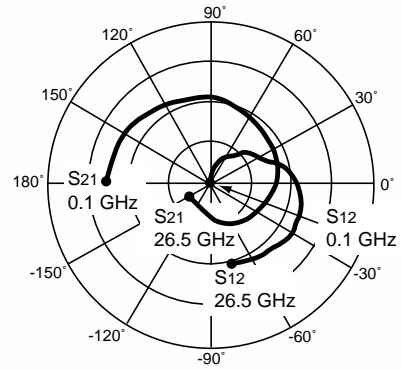
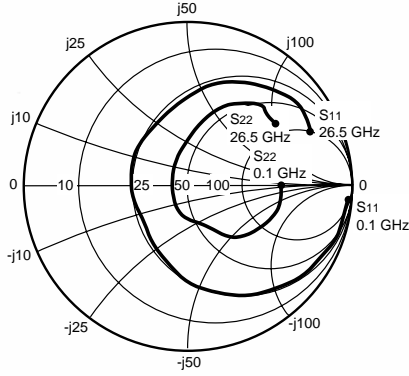
$$MAG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K \pm \sqrt{K^2 - 1})$$

. When $K \leq 1$, MAG is undefined and MSG values are used. $MSG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}$, $K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 |S_{12} S_{21}|}$, $\Delta = S_{11} S_{22} - S_{21} S_{12}$

MAG = Maximum Available Gain

MSG = Maximum Stable Gain

TYPICAL SCATTERING PARAMETERS (TA = 25°C)



Coordinates in Ohms
Frequency in GHz
VD = 2 V, ID = 20 mA

NE3210S01
VD = 2 V, ID = 20 mA

FREQUENCY	S11		S21		S12		S22		K	MAG ¹
GHz	MAG	ANG	MAG	ANG	MAG	ANG	MAG	ANG		(dB)
0.10	1.001	-1.35	6.350	178.44	0.001	100.26	0.592	-0.73	-0.17	36.97
0.20	1.000	-2.51	6.337	177.12	0.002	90.28	0.589	-1.97	-0.01	34.46
0.30	1.000	-3.69	6.331	175.80	0.004	87.69	0.589	-2.99	0.01	32.52
0.40	0.998	-4.98	6.330	174.36	0.005	87.54	0.590	-3.85	0.05	31.37
0.50	0.995	-5.88	6.237	172.35	0.006	86.52	0.594	-4.39	0.11	30.44
0.70	0.991	-8.15	6.225	169.31	0.008	84.90	0.594	-6.19	0.15	28.93
1.00	0.986	-11.99	6.204	164.85	0.011	82.77	0.591	-8.54	0.19	27.38
1.50	0.974	-17.98	6.159	157.43	0.017	79.05	0.584	-12.82	0.24	25.64
2.00	0.956	-24.42	6.120	150.06	0.022	75.64	0.575	-16.80	0.31	24.38
2.50	0.934	-30.87	6.063	142.74	0.028	71.93	0.564	-20.81	0.38	23.41
3.00	0.908	-37.20	5.992	135.43	0.033	67.90	0.551	-24.92	0.45	22.62
3.50	0.878	-43.32	5.895	128.25	0.037	63.92	0.536	-28.84	0.53	21.97
4.00	0.845	-49.17	5.779	121.34	0.042	59.78	0.521	-32.40	0.61	21.43
5.00	0.777	-60.41	5.554	108.25	0.049	52.66	0.491	-38.43	0.76	20.57
6.00	0.709	-70.94	5.407	95.77	0.054	47.49	0.464	-44.02	0.88	19.97
7.00	0.630	-84.63	5.307	82.35	0.063	40.74	0.417	-51.35	0.96	19.23
8.00	0.513	-99.19	5.065	68.31	0.067	32.02	0.342	-57.35	1.16	16.31
9.00	0.420	-117.65	4.867	54.88	0.074	25.26	0.284	-66.38	1.25	15.21
10.00	0.342	-136.22	4.607	43.14	0.077	21.16	0.239	-72.34	1.34	14.25
11.00	0.334	-159.96	4.577	30.55	0.090	17.65	0.210	-88.57	1.21	14.32
12.00	0.340	170.90	4.426	15.93	0.102	9.26	0.146	-113.66	1.14	14.09
13.00	0.368	141.32	4.158	1.81	0.110	0.21	0.090	-161.41	1.13	13.54
14.00	0.412	115.91	3.825	-11.53	0.114	-8.01	0.112	135.76	1.16	12.85
15.00	0.485	98.43	3.540	-23.59	0.117	-15.36	0.177	108.58	1.14	12.57
16.00	0.560	84.46	3.281	-35.66	0.117	-21.73	0.242	93.80	1.11	12.45
17.00	0.638	73.45	3.045	-48.59	0.118	-28.19	0.327	83.95	1.04	12.92
18.00	0.709	63.12	2.727	-61.63	0.116	-35.54	0.419	74.18	0.98	13.70
19.00	0.755	54.05	2.418	-72.63	0.113	-41.78	0.496	67.89	0.94	13.32
20.00	0.787	47.82	2.146	-82.09	0.108	-46.06	0.543	62.26	0.92	12.99
21.00	0.807	44.84	1.962	-89.92	0.107	-49.01	0.573	57.59	0.88	12.63
22.00	0.837	40.34	1.815	-98.91	0.107	-54.84	0.614	53.81	0.77	12.29
23.00	0.852	35.93	1.686	-109.02	0.105	-61.41	0.648	49.53	0.67	12.07
24.00	0.846	31.86	1.548	-118.22	0.102	-66.55	0.675	46.40	0.64	11.83
25.00	0.849	26.10	1.488	-126.33	0.099	-70.76	0.677	46.14	0.59	11.77
26.00	0.840	25.54	1.467	-134.00	0.101	-72.25	0.655	40.16	0.62	11.62
26.50	0.835	26.02	1.446	-139.10	0.099	-74.52	0.660	34.52	0.63	11.63

Note:

1. Gain Calculation:

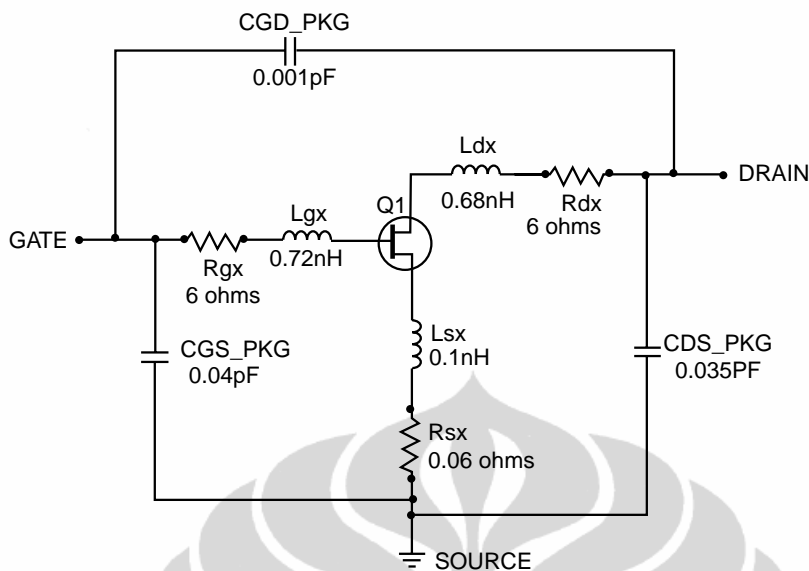
$$MAG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K \pm \sqrt{K^2 - 1})$$

. When $K \leq 1$, MAG is undefined and MSG values are used. $MSG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}$, $K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 |S_{12} S_{21}|}$, $\Delta = S_{11} S_{22} - S_{21} S_{12}$

MAG = Maximum Available Gain
MSG = Maximum Stable Gain

NE3210S01 NONLINEAR MODEL

SCHEMATIC

FET NONLINEAR MODEL PARAMETERS ⁽¹⁾

Parameters	Q1	Parameters	Q1
VTO	-0.798	RG	8
VTOSC	0	RD	0.5
ALPHA	8	RS	3
BETA	0.0952	RGMET	0
GAMMA	0.072	KF	0
GAMMADC	0.065	AF	1
Q	2.5	TNOM	27
DELTA	0.5	XTI	3
VBI	0.6	EG	1.43
IS	1e-14	VTOTC	0
N	1	BETATCE	0
RIS	0	FFE	1
RID	0		
TAU	4e-12		
CDS	0.12e-12		
RDB	5000		
CBS	1e-9		
CGSO	0.36e-12		
CGDO	0.014e-12		
DELTA1	0.3		
DELTA2	0.6		
FC	0.5		
VBR	Infinity		

(1) Series IV Libra TOM Model

Life Support Applications

These NEC products are not intended for use in life support devices, appliances, or systems where the malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. The customers of CEL using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify CEL for all damages resulting from such improper use or sale.

CEL California Eastern Laboratories, Your source for NEC RF, Microwave, Optoelectronic, and Fiber Optic Semiconductor Devices.

4590 Patrick Henry Drive • Santa Clara, CA 95054-1817 • (408) 988-3500 • FAX (408) 988-0279 • www.cel.com

DATA SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

UNITS

Parameter	Units
time	seconds
capacitance	farads
inductance	henries
resistance	ohms
voltage	volts
current	amps

MODEL RANGE

Frequency: 0.1 to 22.5 GHz

Bias: $V_{DS} = 1\text{ V to }3\text{ V}$, $I_D = 5\text{ mA to }30\text{ mA}$

Date: 1/99