

**RANCANG BANGUN *LOW NOISE AMPLIFIER* 2 TINGKAT
PADA FREKUENSI 1,500 – 1,650 GHz DENGAN METODE
PENYESUAI IMPEDANSI $\lambda/4$**

RIZKY KURNIA WARDHANI

5215122664



Skripsi Ini Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Pendidikan



PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRONIKA

FAKULTAS TEKNIK



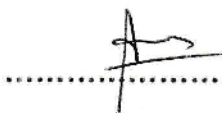
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

LEMBAR PENGESAHAN

NAMA	TANDA TANGAN	TANGGAL
<u>Drs. Mufti Ma'sum, M.Pd</u> (Dosen Pembimbing I)		13 Februari 2017
<u>Dr. Baso Maruddani, MT</u> (Dosen Pembimbing II)		13 Februari 2017

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SIDANG

NAMA	TANDA TANGAN	TANGGAL
<u>Dr. Muhammad Yusro, MT</u> (Ketua)		10/2 2017
<u>Arum Setyowati, MT</u> (Sekretaris)		13 Februari 2017
<u>Aodah Diamah, Ph.D</u> (Dosen Ahli)		10 Februari 2017

Tanggal Lulus : 6 Februari 2017

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik Sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Januari 2017

Yang Membuat Pernyataan



Rizky Kurnia Wardhani

5215122664

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Karunia dan Rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyusun skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Pitoyo Yuliatmojo, MT selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika.
- 2) Prof. Dr. Ir. Ivan Hanafi, M.Pd selaku penasehat akademik.
- 3) Drs. Mufti Ma'sum, M.Pd selaku dosen pembimbing I atas segala ketulusan, kesabaran dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi.
- 4) Dr. Baso Maruddani, MT selaku dosen pembimbing II atas segala ketulusan, kesabaran dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi.
- 5) Yaya Sulaeman, ST, Yana Taryana, MT dan Teguh Praludi, MT selaku dosen pembimbing lapangan atas segala ilmu dan waktunya sehingga penulis dapat merealisasikan skripsi sesuai dengan perancangan.
- 6) Kedua orang tua dan kedua kakak penulis yang telah memberikan kasih sayang yang tidak ternilai harganya dan juga atas doa yang tidak pernah terhenti diucapkan.
- 7) Rekan-rekan mahasiswa/i Pendidikan Teknik Elektronika angkatan 2012 yang telah membantu dan memberi dukungan dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini dengan balasan yang lebih baik. Semoga skripsi ini membawa manfaat yang besar bagi semua pihak dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan khususnya di bidang Telekomunikasi dan teknologi.

Jakarta, Januari 2017



Penulis

ABSTRAK

Rizky Kurnia Wardhani, Rancang Bangun *Low Noise Amplifier* 2 Tingkat Pada Frekuensi 1,500 – 1,650 GHz Dengan Metode Penyesuai Impedansi $\lambda/4$. Skripsi. Jakarta, Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, 2017. Dosen Pembimbing: Drs. Mufti Ma'sum, M.Pd dan Dr. Baso Maruddani, MT.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat dan mengukur *Low Noise Amplifier* (LNA) 2 tingkat pada frekuensi 1,500 – 1,650 GHz dengan metode penyesuai impedansi $\lambda/4$ menggunakan simulasi perangkat lunak *Advanced Design System* (ADS) 2011 dan alat ukur *Vector Network Analyzer* (VNA), *Signal Generator*, *Spectrum Analyzer*, dan *Noise Source*. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Telekomunikasi Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta pada bulan Mei – Desember 2016 dan pengukuran dilaksanakan di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (P2ET) LIPI Bandung.

Transistor yang digunakan adalah jenis BJT tipe BFP-420, pembiasan yang digunakan dalam perancangan adalah menggunakan *fixed bias* dan penyesuai impedansi yang digunakan dalam perancangan adalah transformator $\lambda/4$. Dalam perancangan transistor menggunakan 2 tingkat untuk menghasilkan *gain* yang tinggi, menurunkan nilai *noise figure* dan meningkatkan kestabilan transistor.

Pada hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ADS 2011 telah memenuhi semua spesifikasi yang diharapkan yaitu pada frekuensi 1,575 GHz didapatkan nilai kestabilan > 1 yaitu 4,221, $S_{21}(\text{gain}) > 20$ dB yaitu 34,422 dB, *Noise Figure* < 2 dB yaitu 1,927 dB, S_{11} (*Input Return Loss*) < -10 dB yaitu -29,504 dB, S_{22} (*Output Return Loss*) < -10 dB yaitu -45,068 dB, *VSWR Input* $< 1,92$ yaitu 1,069, *VSWR Output* $< 1,92$ yaitu 1,011.

Hasil pengukuran LNA menunjukkan terjadi pergeseran frekuensi dengan nilai kestabilan sebesar 4,809, S_{21} (*gain*) 24,91 dB, *Noise Figure* 2,440 dB, S_{11} (*Input Return Loss*) -4,780 dB, S_{22} (*Output Return Loss*) -7,910 dB, *VSWR Input* 3,726, *VSWR Output* 2,345.

Kata kunci : *Low Noise Amplifier*, *fixed bias*, BFP-420, Transformator $\lambda/4$, *Advanced Design System* (ADS) 2011, *Vector Network Analyzer* (VNA), *Signal Generator*, *Spectrum Analyzer*, *Noise Source*.

ABSTRACT

Rizky Kurnia Wardhani, Design of 2 Stage Low Noise Amplifier At 1.500 – 1,650 GHz Frequency Using $\lambda/4$ Matching Network Method. Thesis. Jakarta, Education Program Electronic Engineering Faculty of Engineering, State University of Jakarta, 2017. Supervisor: Drs. Mufti Ma'sum, M.Pd and Dr. Baso Maruddani, MT.

This research aims to design, build and measure Low Noise Amplifier (LNA) 2 stage at 1.500 – 1,650 GHz frequency with a method of adjusting the impedance $\lambda/4$ software using simulations *Advanced Design System (ADS) 2011* and measurement Vector Network Analyzer (VNA), Signal Generators, Spectrum Analyzer, and Noise Source. Research conducted at the Laboratory of Telecommunications Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, State University of Jakarta in May - December 2016 and measurements carried out at the Research Center of Electronics and Telecommunications (P2ET) LIPI Bandung.

The transistor used in BJT BFP-420 type, refraction used in the design is *fixed bias* and mtching impedance is used transformer $\lambda/4$. In the design of transistors using two stage to produce high *gain*, and improve the stability of the transistor.

In the design results simulated using ADS 2011 software has met all specifications expected in frequency of 1.575 GHz has a value of stability > 1 is 4.221, $S_{21}(\text{gain}) > 20$ dB is 34,422 dB, *Noise Figure* < 2 dB is 1,927 dB, S_{11} (*Input Return Loss*) < -10 dB is -29,504 dB, S_{22} (*Output Return Loss*) < -10 dB is -45,068 dB, VSWR *Input* $< 1,92$ is 1,069, VSWR *Output* $< 1,92$ is 1,011.

LNA measurement results indicate a shift in the frequency with a value of stability to 4.809, S_{21} (*gain*) is 24,91 dB, *Noise Figure* is 2,440 dB, S_{11} (*Input Return Loss*) is -4,780 dB, S_{22} (*Output Return Loss*) is -7,910 dB, VSWR *Input* is 3,726, VSWR *Output* is 2,345.

Keywords: *Low Noise Amplifier, fixed bias, BFP-420, Transformer $\lambda/4$, Advanced Design System (ADS) 2011, Vector Network Analyzer (VNA), Signal Generators, Spectrum Analyzer, Noise Source.*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Pernyataan	iii
Kata Pengantar	iv
Abstrak	v
Abstract	vi
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Lampiran	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Perumusan Masalah.....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Teoritik	7
2.1.1. Definisi Rancang Bangun	7
2.1.2. Low Noise Amplifier	8

2.1.2.a. Transistor	8
2.1.2.b. Rangkaian DC Bias	9
b.1. <i>Bias</i> Tetap (<i>Fixed Biasing</i>)	9
b.2. <i>Bias</i> Pembagi Tegangan (<i>Voltage Divider Biasing</i>)	12
b.3. <i>Bias</i> DC Dengan Tegangan Umpan Balik (<i>Feedback DC Biasing</i>)	14
2.1.2.c. Rangkaian Penyesuai Impedansi	14
c.1. Transformator $\lambda/4$	15
2.1.2.d. Saluran Mikrostrip	17
2.1.2.e. <i>Scattering</i> Parameter	18
2.1.2.f. Parameter LNA	21
f.1. Kestabilan	21
f.2. <i>Gain</i>	24
f.3. <i>Noise Figure</i>	26
f.4. <i>Return Loss</i>	27
f.4. <i>VSWR</i>	29
2.2. Kerangka Berpikir	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.2. Metode Pengembangan Produk	32
3.2.1. Tujuan Pengembangan	32
3.2.2. Metode Pengembangan	32
3.2.3. Sasaran Produk	35

3.2.4. Instrumen	35
3.3 Prosedur Pengembangan	36
3.3.1. Tahap Penelitian dan Pengumpulan Informasi	36
3.3.2. Tahap Perencanaan	37
3.3.2.a. Menentukan Spesifikasi LNA	37
3.3.2.b. Menentukan Jenis Substrat	38
3.3.2.c. Menentukan Jenis Transistor	38
3.3.2.d. Menentukan Rangkaian DC Bias	42
3.3.2.e. Menentukan Rangkaian Penyesuai Impedansi	43
3.3.3. Tahap Desain Produk	43
3.3.3.a. Desain LNA Dengan <i>Advanced Design System</i> 2011	43
3.3.3.b. Validasi Desain LNA	43
3.3.3.c. Desain <i>Layout</i> Rangkaian LNA Dengan Altium 2013	44
3.3.3.d. Uji Coba Produk	45
d.1. Fabrikasi LNA	45
d.2. Penyolderan Komponen LNA	46
d.3. Pengukuran LNA Dengan <i>Signal Generator</i> dan <i>Spectrum Analyzer</i>	47
d.4. Pengukuran LNA Dengan <i>Signal Generator</i> , <i>Spectrum Analyzer</i> dan <i>Noise Source</i>	49
d.5. Pengukuran LNA Dengan <i>Vector Network Analyzer</i>	50
3.4 Teknik Pengumpulan Data	52

3.5 Teknik Analisis Data	52
--------------------------------	----

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengembangan Produk	57
4.1.1 Hasil Perancangan.....	57
4.1.1.a. Hasil Perancangan DC Bias	57
4.1.1.b. Hasil Perancangan Rangkaian Impedance Matching	59
b.1. Penyesuaian Impedansi Input Dengan Transformator $\lambda/4$	60
b.2. Penyesuaian Impedansi Output Dengan Transformator $\lambda/4$	62
c.3. Penyesuaian <i>Interstage</i>	65
4.1.1.c. Hasil Akhir Rangkaian LNA	68
4.2. Kelayakan Produk (Teoritik dan Empiris)	71
4.2.1. Hasil Desain Layout LNA Pada Altium 2013	71
4.2.2. Hasil Simulasi LNA Pada ADS 2011	71
4.2.2.a. Kestabilan	72
4.2.2.b. <i>Gain</i> (S_{21})	73
4.2.2.c. <i>Noise Figure</i>	74
4.2.2.d. <i>Input Return Loss</i> (S_{11})	75
4.2.2.e. <i>Output Return Loss</i> (S_{22})	76
4.2.2.f. <i>VSWR Input</i>	77
4.2.2.g. <i>VSWR Output</i>	78
4.3. Efektifitas Produk (Melalui Uji Coba)	78
4.3.1. Hasil Fabrikasi LNA	78

4.3.2. Hasil Pengukuran LNA Dengan <i>Vector Network Analyzer</i> , <i>Signal Generator</i> dan <i>Noise Source</i>	80
4.3.2.a. Pengukuran <i>Gain</i> (S_{21})	81
4.3.2.b. Pengukuran <i>Noise Figure</i>	82
4.3.2.c. Pengukuran <i>Input Return Loss</i> (S_{11})	83
4.3.2.d. Pengukuran <i>Output Return Loss</i> (S_{22})	84
4.3.2.e. Pengukuran <i>VSWR Input</i>	85
4.3.2.f. Pengukuran <i>VSWR Output</i>	86
4.4. Pembahasan	86
4.4.1. Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Hasil Simulasi	87
4.4.2. Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran	88
4.5. Kelemahan Penelitian	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	97
5.2 Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN.....	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi LNA	37
Tabel 3.2	Spesifikasi Substrat Rogers 4350B	38
Tabel 3.3	Peralatan Penunjang Untuk Menyolder Komponen LNA	46
Tabel 3.4	Perbandingan Nilai Resistor Yang Digunakan	53
Tabel 3.5	Perbandingan Nilai <i>Stripline</i> Penyesuai Impedansi <i>Input</i>	53
Tabel 3.6	Perbandingan Nilai <i>Stripline</i> Penyesuai Impedansi <i>Output</i>	54
Tabel 3.7	Perbandingan Nilai <i>Stripline</i> Penyesuai mpedansi <i>Interstage</i>	54
Tabel 3.8	Daftar Nilai Komponen Untuk Rangkaian LNA	55
Tabel 3.9	Perbandingan Dimensi LNA Setelah Fabrikasi	55
Tabel 3.10	Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran LNA	56
Tabel 4.1	Hasil Penyesuaian Nilai Resistor Yang Ada Di Pasaran	58
Tabel 4.2	Hasil Nilai <i>Stripline</i> Penyesuai Impedansi <i>Input</i>	62
Tabel 4.3	Hasil Nilai <i>Stripline</i> Penyesuai Impedansi <i>Output</i>	65
Tabel 4.4	Hasil Nilai <i>Stripline</i> Penyesuai Impedansi <i>Interstage</i>	67
Tabel 4.5	Dafar Nilai Komponen Rangkaian Akhir LNA	70
Tabel 4.6	Hasil Perbandingan Dimensi LNA	79
Tabel 4.7	Hasil Perbandingan Antara Simulasi Dengan Pengukuran LNA ..	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Blok Diagram RF	2
Gambar 2.1	Rangkaian Ekuivalen Transistor BJT	8
Gambar 2.2	Rangkaian <i>Fixed Bias</i>	10
Gambar 2.3	Rangkaian Ekuivalen <i>Fixed Bias</i>	10
Gambar 2.4	Loop <i>Base-Emitter</i>	11
Gambar 2.5	Loop <i>Collector-Emitter</i>	11
Gambar 2.6	Rangkaian <i>Bias</i> Pembagi Tegangan	12
Gambar 2.7	Rangkaian Ekuivalen Thevenin	13
Gambar 2.8	Rangkaian Thevenin Dari Analisa DC Untuk <i>Bias</i> Pembagi Tegangan	13
Gambar 2.9	Rangkaian <i>Bias</i> DC Menggunakan Metode Tegangan Umpan Balik	14
Gambar 2.10	Blok Rangkaian Penguat	15
Gambar 2.11	Penyesuai Transformator $\lambda/4$	15
Gambar 2.12	Pola Medan Listrik Pada Saluran Mikrostrip.....	17
Gambar 2.13	Relasi <i>S</i> -Parameter Pada Rangkaian <i>Two-Port Network</i>	19
Gambar 2.14	<i>Two-Port Network</i> Dengan Sumber Dan Beban	21
Gambar 2.15	Plot Lingkaran Kestabilan Beban Pada Diagram Smith	24

Gambar 2.16	Blok Diagram <i>Gain</i> Pada Transistor, <i>Input</i> Dan <i>Output</i> <i>Matching</i>	25
Gambar 2.17	<i>Two-Port Network</i>	28
Gambar 2.18	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.1	Langkah-Langkah Pengembangan Metode R&D	33
Gambar 3.2	Skema Blok Diagram RF	36
Gambar 3.3	Karakteristik DC Dari Transistor BFP-420 Dari <i>Datasheet</i>	39
Gambar 3.4	Karakteristik AC Dari Transistor BFP-420 Dari <i>Datasheet</i>	39
Gambar 3.5	Nilai Maksimum Untuk Berbagai Parameter Pada Transistor BFP-420.....	40
Gambar 3.6	Rangkaian Karakteristik Transistor Menggunakan ADS 2011	41
Gambar 3.7	Kurva Perbandingan Arus I_C Terhadap V_{CE} Transistor BFP-420	41
Gambar 3.8	Bentuk Rangkaian DC <i>Bias</i>	42
Gambar 3.9	Tampilan <i>Tunning</i> Pada <i>Software</i> ADS	44
Gambar 3.10	Desain Skema Rangkaian LNA Pada <i>Software</i> Altium 2013	45
Gambar 3.11	<i>Set-up</i> Pengukuran <i>Gain</i>	47
Gambar 3.12	<i>Set-up</i> Pengukuran <i>Noise Figure</i>	49
Gambar 3.13	Terminasi $50\ \Omega$ <i>Output</i> Untuk Pengukuran S_{11} dan VSWR <i>Input</i>	51
Gambar 3.14	Terminasi $50\ \Omega$ <i>Input</i> Untuk Pengukuran S_{22} dan VSWR <i>Output</i>	51

Gambar 4.1	Hasil Simulasi Untuk Pengukuran Z_S Dan Z_L	60
Gambar 4.2	<i>Tools Smith Chart Utility</i> Pada ADS 2011	66
Gambar 4.3	<i>Tools Line Calculator</i> Pada ADS 2011	67
Gambar 4.4	Penambahan Rangkaian Penyesuai Impedansi Berupa <i>Stripline</i>	68
Gambar 4.5	<i>Tools Simulator</i> Untuk Simulasi	69
Gambar 4.6	Tampilan Proses <i>Tunning</i> Komponen Penyesuai Impedansi	70
Gambar 4.7	Hasil <i>Desain Layout</i> LNA	71
Gambar 4.8	Grafik Hasil Simulasi Kestabilan Transistor	72
Gambar 4.9	Grafik Hasil Simulasi S_{21} (<i>Gain</i>)	73
Gambar 4.10	Grafik Hasil Simulasi <i>Noise Figure</i>	74
Gambar 4.11	Grafik Hasil Simulasi S_{11} (<i>Input Return Loss</i>)	75
Gambar 4.12	Grafik Hasil Simulasi S_{22} (<i>Output Return Loss</i>)	76
Gambar 4.13	Grafik Hasil Simulasi <i>VSWR Input</i>	77
Gambar 4.14	Grafik Hasil Simulasi <i>VSWR Output</i>	78
Gambar 4.15	Hasil <i>Fabrikasi</i> LNA	79
Gambar 4.16	Komponen LNA Yang Telah Disolder	80
Gambar 4.17	Pengukuran Level <i>Input</i> Menggunakan <i>Signal Generator</i>	81
Gambar 4.18	Daya <i>Output</i> Menggunakan <i>Spectrum Analyzer</i>	81
Gambar 4.19	Hasil Pengukuran <i>Noise Figure</i>	82
Gambar 4.20	Hasil Pengukuran S_{11} (<i>Input Return Loss</i>)	83
Gambar 4.21	Hasil Pengukuran S_{22} (<i>Output Return Loss</i>)	84

Gambar 4.22	Hasil Pengukuran VSWR <i>Input</i>	85
Gambar 4.23	Hasil Pengukuran VSWR <i>Output</i>	86
Gambar 4.24	Hasil Simulasi Nilai Kestabilan	87
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan Simulasi Dan Pengukuran Terhadap <i>Noise Figure</i>	89
Gambar 4.26	Grafik Perbandingan Simulasi Dan Pengukuran Terhadap S_{11} (<i>Input Return Loss</i>)	89
Gambar 4.27	Grafik Perbandingan Simulasi Dan Pengukuran Terhadap S_{22} (<i>Output Return Loss</i>)	90
Gambar 4.28	Grafik Perbandingan Simulasi Dan Pengukuran Terhadap <i>VSWR Input</i>	90
Gambar 4.29	Grafik Perbandingan Simulasi Dan Pengukuran Terhadap <i>VSWR Output</i>	91
Gambar 4.30	Model Kapasitor Pada PCB Yang Dilewati Sinyal RF	92
Gambar 4.31	Model Induktor Pada PCB Yang Dilewati Sinyal RF	93
Gambar 4.32	Sambungan Kabel <i>Coaxial</i> Pada <i>Port</i> Rangkaian LNA	94

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Rangkaian Akhir <i>Low Noise Amplifier</i>	101
Lampiran 2	Hasil Simulasi Pada <i>Advanced Design System 2011</i>	102
Lampiran 3	<i>Datasheet</i> Infineon BFP-420	103
Lampiran 4	<i>Datasheet</i> Substrat Rogers 4350B	112
Lampiran 5	Data Pengukuran <i>Return Loss Input</i>	116
Lampiran 6	Data Pengukuran <i>Return Loss Output</i>	118
Lampiran 7	Data Pengukuran <i>VSWR Input</i>	120
Lampiran 8	Data Pengukuran <i>VSWR Output</i>	123
Lampiran 9	Gambaran Penyesuai Impedansi Dalam <i>Smith Chart</i>	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Semakin banyak kebutuhan manusia akan informasi, para ilmuwan dan lembaga-lembaga tinggi suatu pemerintahan membuat suatu sistem yang dapat memenuhi akan kebutuhan tersebut. Salah satu sistem teknologi yang super canggih adalah sistem navigasi satelit. Dengan adanya teknologi ini seseorang dapat mengetahui posisinya atau orang lain berada hanya dengan bantuan alat yang dapat menerima sinyal navigasi satelit tersebut. Salah satu sistem navigasi satelit yang populer saat ini adalah *Global Positioning System (GPS)* yang bekerja pada frekuensi 1,575 GHz.

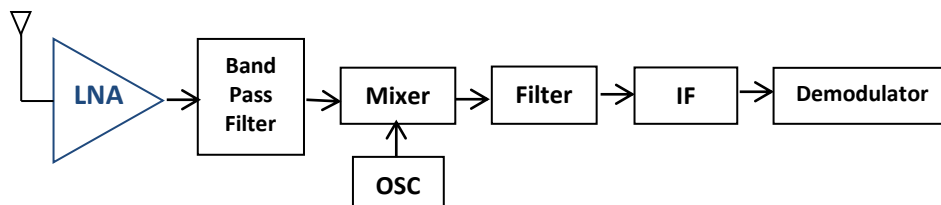
Secara komersial alat ini juga dapat merekomendasikan lintasan dari lokasi saat ini hingga tujuan perjalanan, merekam lintasan yang pernah dilalui dan memberikan informasi lokasi fasilitas-fasilitas penting terdekat seperti ATM, Bank, supermarket dan lain-lain. Ketelitian dari GPS dapat mencapai beberapa milimeter untuk ketelitian posisinya, beberapa sentimeter tiap detik untuk ketelitian kecepatannya dan beberapa nanodetik untuk ketelitian waktunya.

Dalam sistem GPS terdapat tiga komponen yang dibutuhkan agar dapat bekerja dengan baik yaitu satelit, GPS receiver, dan posisi. Fungsi dari GPS receiver itu sendiri adalah untuk menerima dan memproses sinyal-sinyal dari satelit GPS yang digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan dan waktu. Sedangkan komponen utama dari suatu GPS receiver secara umum adalah antena dengan pre-amplifier, bagian RF dengan pengidentifikasi sinyal dan pemroses

sinyal, pemroses mikro untuk pengontrolan receiver, data sampling dan pemroses data (solusi navigasi), osilator presisi, catu daya, unit perintah dan tampilan, dan memori serta perekam data (Parkinson, 1996: 93).

Namun pada sistem GPS ini masih terdapat beberapa kesalahan komponen sistem yang akan mempengaruhi ketelitian hasil posisi yang diperoleh. Kesalahan-kesalahan tersebut contohnya kesalahan orbit satelit, kesalahan jam satelit, kesalahan jam receiver, kesalahan pusat fase antena, dan multipath. Hal-hal lainnya juga ada yang mengiringi kesalahan sistem seperti efek imaging, dan noise.

Untuk mengurangi noise yang ada maka perangkat GPS ini membutuhkan antena eksternal aktif yang sudah dilengkapi dengan *low noise amplifier* (LNA) karena sinyal akan berkurang ketika meliwati kabel. LNA merupakan salah satu diagram blok rangkaian dalam sistem penerimaan *Radio Frequency* (RF) yang digunakan untuk memperkuat sinyal yang diterima oleh receiver dengan noise seminimal mungkin (Rogers dan Plett, 2003: 5). Berikut ini merupakan blok diagram dari receiver RF.



Gambar 1.1. Blok Diagram RF

Berdasarkan gambar 1.1, sinyal akan diterima dari pengirim melalui antenna dan diteruskan masuk ke LNA yang harus sanggup menerima sinyal yang lemah dan menguatkan sinyal tersebut sampai beberapa dB agar dapat dicapai level yang cukup untuk diberikan ke perangkat penerima. Namun, di sisi lain amplifier juga turut menambah noise pada sistem receiver. Agar tambahan noise tersebut tidak berpengaruh besar terhadap sinyal yang diterima receiver, kontribusi noise LNA haruslah seminimal mungkin.

Sampai dengan saat ini telah banyak dilakukan perancangan LNA diantaranya yaitu perancangan yang dilakukan oleh Xiao FengDong dkk yang bekerja pada frekuensi 1,575 GHz untuk aplikasi GPS yang menggunakan teknologi $0.18 \mu\text{m CMOS}$. LNA dirancang dengan menggunakan rangkaian cascade paralel LC yang single-ended. Dengan mengkonsumsi daya 11,6 mW, menghasilkan gain sebesar 20,04 dB, input dan output return loss masing-masing sebesar 42,05 dB dan 16,38 dB dengan noise figure 1,9 dB (Xiao, dkk., 2010: 6).

Sementara itu, Luo Yanbin dkk merancang LNA dengan aplikasi yang sama dengan menggunakan teknologi $0.18 \mu\text{m SiGe BiCMOS}$. Gain yang dihasilkan sebesar 17,8 dB, input dan output return loss masing-masing sebesar 10,3 dB dan 17 dB serta noise figure sebesar 1,1 dB (Luo, dkk., 2014: 5).

Sebagai pembandingan perancangan yang dilakukan oleh Varish Diddi dkk, merancang LNA dengan aplikasi yang sama dengan menggunakan teknologi $0.25 \mu\text{m SiGe BiCMOS}$. Dengan mengkonsumsi daya 2 mW, menghasilkan gain sebesar 14,8 dB dengan noise figure 0,96 dB (Varish, dkk., 2011: 42).

Dari beberapa perancangan diatas, terlihat bahwa jenis transistor yang digunakan dapat mempengaruhi nilai gain dan noise figure yang sangat berbeda. Untuk itu peneliti merancang LNA menggunakan transistor jenis BJT (*Bipolar Junction Transistor*) tipe BFP-420 2 tingkat dengan metode penyesuai impedansi $\lambda/4$ sehingga memperoleh gain yang tinggi dengan noise figure yang rendah. Perancangan LNA disimulasikan dalam software *Advance Design System* (ADS) 2011. Untuk memverifikasi performansi LNA yang di disain, hasil simulasi LNA yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan LNA yang didapat.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka identifikasi masalah adalah sebagai berikut:

1. Kelemahan *Low Noise Amplifier* 1 tingkat adalah nilai *gain* yang kecil, *noise figure* yang besar dan faktor kestabilan yang rendah.
2. Dengan menyusun rangkaian *Low Noise Amplifier* 2 tingkat dapat menghasilkan nilai *gain* yang tinggi, menurunkan nilai *noise figure*, dan meningkatkan kestabilan rangkaian LNA.
3. Merancang *Low Noise Amplifier* pada frekuensi 1,500 – 1,650 GHz dengan menggunakan perangkat lunak *Advanced Design System* 2011.
4. Mengukur dan menguji parameter *Low Noise Amplifier* dengan menggunakan alat ukur *Vector Network Amplifier*, *Signal Generator* dan *Spectrum Analyzer*.

1.3. Pembatasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini berkisar pada perancangan dan pengukuran *Low Noise Amplifier* menggunakan jenis BJT (*Bipolar Junction Transistor*) tipe BFP-420 yang disusun 2 tingkat pada frekuensi 1,500 – 1,650 GHz menggunakan perangkat lunak *Advanced Design System 2011* dan perangkat uji *Vector Network Analyzer* untuk menghasilkan faktor kestabilan > 1 , $Gain > 20$ dB, $Noise Figure < 1$ dB, $Input$ dan $Output Return Loss < -10$ dB, $VSWR < 1,92$.

1.4. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah Bagaimana merancang, membuat dan mengukur parameter *Low Noise Amplifier* pada frekuensi 1,500 – 1,650 GHz agar menghasilkan faktor kestabilan > 1 , $Gain > 20$ dB, $Noise Figure < 1$ dB, $Input$ dan $Output Return Loss < -10$ dB, $VSWR < 1,92$ dengan menggunakan perangkat lunak *Advanced Design System 2011* dan perangkat uji *Vector Network Analyzer*, *Signal Generator*, *Spectrum Analyzer*, dan *Noise Source*?

1.5 Tujuan Penelitian

Sesuai masalah yang telah dirumuskan, maka tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah mampu merancang, membuat dan mengukur *Low Noise Amplifier* pada frekuensi 1,500 – 1,650 GHz untuk menghasilkan faktor kestabilan > 1 , $Gain > 20$ dB, $Noise Figure < 1$ dB, $Input$ dan $Output Return Loss < -10$ dB, $VSWR < 1,92$.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah untuk mengembangkan teknologi dan informasi khususnya dalam bidang teknik telekomunikasi dengan membuat sebuah rancang bangun *Low Noise Amplifier* (LNA) yang dapat bekerja dengan baik untuk diterapkan pada aplikasi tertentu dalam kehidupan sehari-hari.

BAB II

TINJAUAN PUSAKA

2.1. Kajian Teoritik

2.1.1. Definisi Rancang Bangun

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) (2008: 1164), rancang atau berancang ialah direncanakan lebih dahulu, merancang ialah mengatur segala sesuatu lebih dahulu (merencanakan), rancangan ialah sesuatu yang sudah dirancang (rencana, program, persiapan), perancangan ialah perihal merancang.

Menurut Darmawan Harso Koesno (2000: 1) perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk.

Sedangkan bangun dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (2008: 135) ialah bentuk (bulat, segi empat) atau cara menyusun/susunan yang merupakan suatu wujud (struktur), membangun ialah memperbaiki/membina/mendirikan, pembangunan ialah hal (cara, perbuatan) membangun.

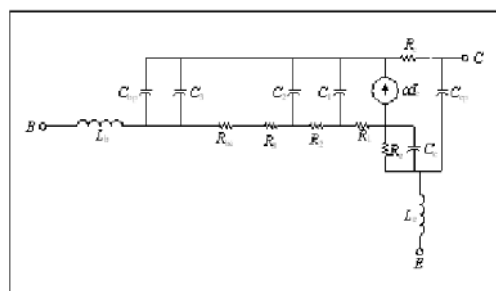
Dari paparan diatas dapat disimpulkan bahwa rancang bangun adalah suatu kegiatan (aktifitas) untuk merencanakan sesuatu dengan matang dan penuh persiapan dalam membuat suatu sistem atau produk yang baru atau belum pernah ada sebelumnya ataupun wujud yang telah ada akan tetapi diinovasikan dengan cara yang berbeda.

2.1.2. Low Noise Amplifier

Low Noise Amplifier merupakan sebuah perangkat pada sistem komunikasi yang digunakan untuk menguatkan sinyal yang sangat lemah ditangkap oleh antenna dan mengurangi *noise* serta distorsi seminimal mungkin sehingga sinyal dapat diteruskan pada perangkat berikutnya pada sistem. Komponen pada LNA yaitu transistor, rangkaian bias, input dan output matching.

2.1.2.a. Transistor

Komponen aktif utama yang digunakan pada penguat gelombang mikro adalah transistor. Pada penelitian ini, transistor yang digunakan adalah transistor dengan jenis BJT dengan polaritas NPN berbahan *Silicon Germanium*. Transistor BJT pada frekuensi tinggi memiliki karakteristik yang berbeda jika dibandingkan dengan transistor BJT yang apabila digunakan pada frekuensi rendah. Transistor BJT pada frekuensi tinggi memiliki model ekuivalen seperti gambar berikut (Putra, 2015: II.6-II.7)



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen Transistor BJT

Parameter yang penting pada sebuah transistor BJT adalah nilai h_{FE} , yaitu nilai gain arus DC. Nilai h_{FE} ini telah ditentukan pada saat transistor dibuat, umumnya tercantum pada *datasheet* dari transistor. Setiap transistor memiliki

nilai h_{FE} yang berbeda-beda walaupun memiliki tipe yang sama. Secara matematis, nilai h_{FE} dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \quad (2.1)$$

Dengan persamaan ini, maka nilai arus yang ada pada kaki *base* (I_B) atau *collector* (I_C) dari sebuah transistor dapat dihitung, namun dengan ketentuan bahwa salah satu arus di kaki tersebut telah diketahui atau ditentukan. Arus inilah yang akan menentukan penghitungan resistor pada rangkaian DC *biasing* yang digunakan untuk mengaktifkan transistor.

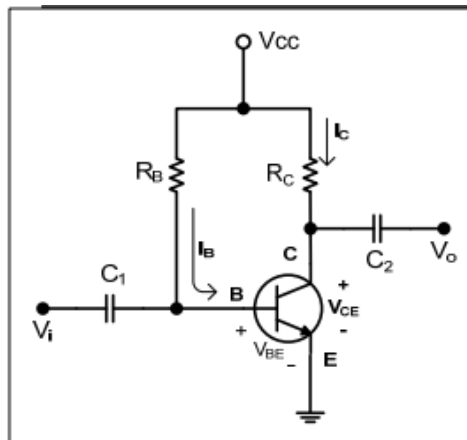
2.1.2.b. Rangkaian DC Bias

Sebuah transistor memerlukan tegangan *bias* untuk dapat aktif bekerja. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan terhadap rangkaian *bias* untuk memastikan bahwa titik kerja transistor berada pada daerah yang aktif dan sesuai dengan kebutuhan perancangan. Terdapat beberapa metode pemberian tegangan *bias* pada transistor, diantaranya bias tetap (*fixed biasing*), bias pembagi tegangan (*voltage divider biasing*), bias DC dengan tegangan umpan balik (*feedback DC biasing*).

b.1. Bias Tetap (*Fixed Biasing*)

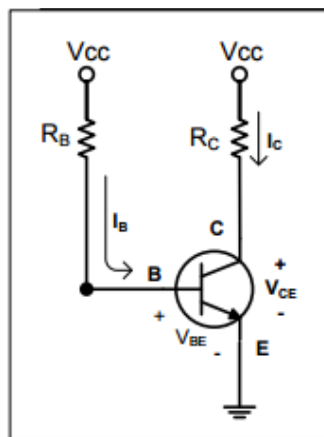
Metode *fixed biasing* merupakan metode pemberian tegangan *bias* yang paling sederhana dimana pada rangkaian *fixed bias* ini, sumber tegangan dihubungkan pada kaki *base* dan *collector* sehingga transistor menjadi aktif. Sebelum memulai analisa DC, rangkaian harus dibuat model analisa DC – nya

terlebih dahulu dengan menghilangkan semua kapasitor (Boylestad dan Nashelsky, 2013: 163-164).

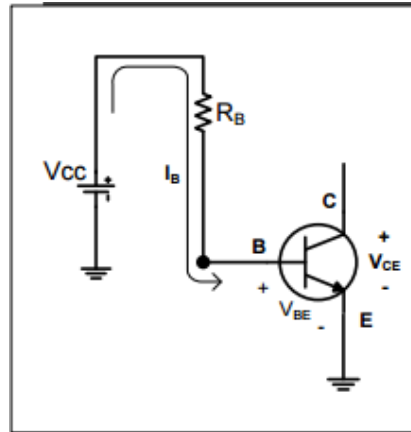


Gambar 2.2 Rangkaian *Fixed Bias*.

Dalam analisa DC, kapasitor berfungsi sebagai pemblok arus DC sehingga keberadaannya dapat dihilangkan dan dianggap *open circuit*.



Gambar 2.3 Rangkaian Ekuivalen *Fixed Bias*



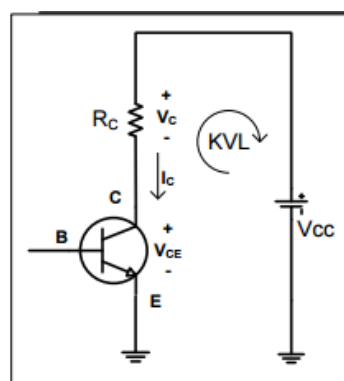
Gambar 2.4 Loop *Base – Emitter*.

Dengan menerapkan persamaan KVL (*Kirchoff's Voltage Law*) pada loop pertama yaitu loop *base – emitter*, maka diperoleh persamaan:

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0 \quad (2.2)$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (2.3)$$

Karena V_{CC} dan V_{BE} bernilai tetap, maka arus basis dapat diatur sedemikian rupa dengan menentukan nilai R_B . Selanjutnya adalah menganalisa loop kedua yaitu loop antara *collector* dan *emitter*. Loop kedua ini pun dapat dianalisa menggunakan persamaan KVL.



Gambar 2.5 Loop *Collector – Emitter*

Nilai arus pada *collector* berhubungan dengan I_B , dimana

$$I_C = h_{FE} I_B \quad (2.4)$$

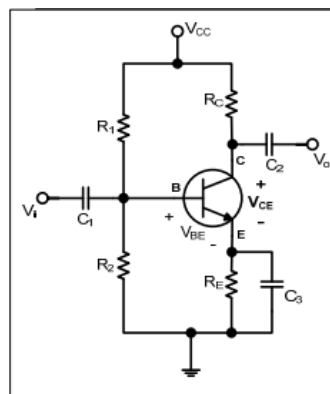
$$V_{CE} = V_C - V_E \quad (2.5)$$

Karena $V_E = 0$ V, maka

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0 \quad (2.6)$$

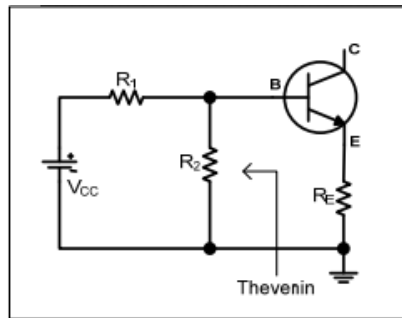
b.2. Bias Pembagi Tegangan (*Voltage Divider Biasing*)

Pada transistor BJT, arus *bias* I_C dan tegangan V_{CE} merupakan fungsi dari penguatan arus (h_{FE}) transistor itu sendiri. Namun, nilai h_{FE} ini sangatlah sensitif terhadap perubahan suhu. Oleh karena itu, dikembangkanlah sebuah rangkaian *bias* yang tidak terlalu bergantung terhadap nilai h_{FE} , yaitu *bias* pembagi tegangan (Boylestad dan Nashelsky, 2013: 175-176).



Gambar 2.6 Rangkaian *Bias* Pembagi Tegangan

Pada rangkaian *bias* pembagi tegangan, rangkaian ekuivalen Thevenin lebih mudah digunakan untuk melakukan analisa DC.



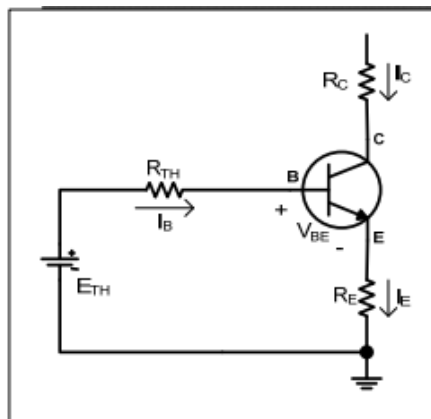
Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen Thevenin

R_{TH} diperoleh dengan menghilangkan sumber tegangan dari rangkaian, sehingga diperoleh,

$$R_{TH} = R_1 // R_2 \quad (2.7)$$

$$E_{TH} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \quad (2.8)$$

Selanjutnya, bagian input dapat digambarkan kembali seperti berikut,



Gambar 2.8 Rangkaian Thevenin Dari Analisa DC Untuk Bias Pembagi Tegangan

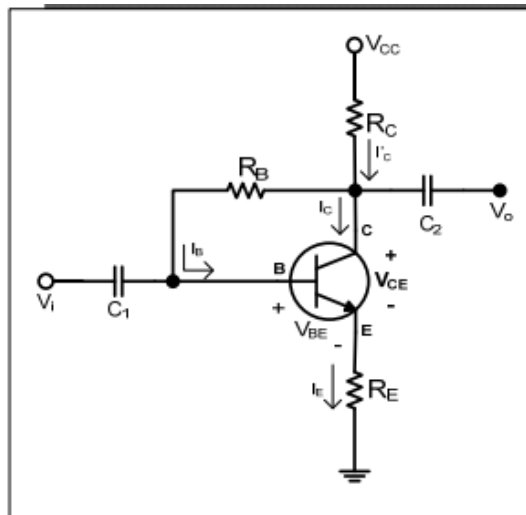
Untuk menganalisa rangkaian Thevenin di atas, maka digunakan persamaan KVL pada loop *base – emitter* dan loop *collector – emitter*. Hasil dari persamaan KVL tersebut adalah,

$$I_B = \frac{E_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (h_{FE} + 1)R_E} \quad (2.9)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \quad (2.10)$$

b.3. Bias DC Dengan Tegangan Umpan Balik (*Feedback DC Biasing*)

Rangkaian *bias* ini menggunakan sebuah jalur dari kaki *collector* yang dihubungkan dengan kaki *base* sebagai umpan balik (*feedback*). Konfigurasi rangkaian *bias* ini dapat digambarkan sebagai berikut (Boylestad dan Nashelsky, 2013: 181-183),



Gambar 2.9 Rangkaian *Bias* DC Menggunakan Metode Tegangan Umpan Balik Dengan menerapkan persamaan KVL pada setiap loop yang ada pada rangkaian, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

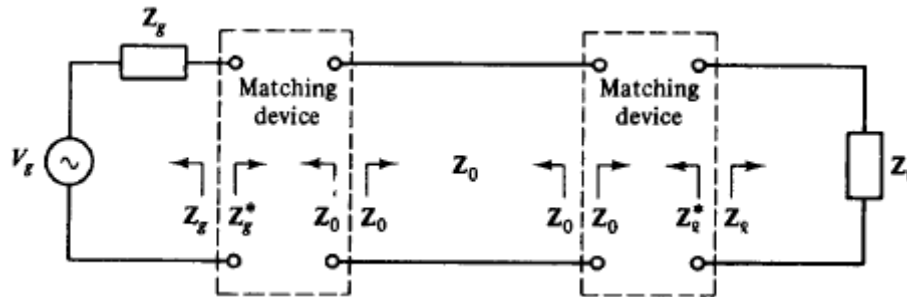
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_B + h_{FE}(R_B + R_E)} \quad (2.11)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \quad (2.12)$$

2.1.2.c. Rangkaian Penyesuai Impedansi

Dalam sebuah rangkaian LNA penyesuai impedansi sangatlah dibutuhkan untuk menyesuaikan impedansi karakteristik antara suatu rangkaian terhadap beban sehingga daya yang ditransmisikan menjadi maksimal tanpa menyebabkan

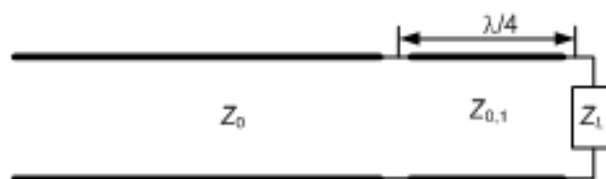
terjadinya pantulan. Pada blok rangkaian penguat terdapat rangkaian penyesuai impedansi seperti gambar berikut ini (Liao, 2005: 89-90)



Gambar 2.10 Blok Rangkaian Penguat

c.1. Transformator $\lambda/4$

Untuk menyesuaikan impedansi Z_L riil ke Z_0 (riil) dapat dilakukan dengan menggunakan transformator $\lambda/4$, saluran dengan impedansi karakteristik $Z_{0,1}$ dan panjangnya seperempat panjang gelombang pada frekuensi rancangan (Polban: 6.48-6.49).



Gambar 2.11 Penyesuai Transformator $\lambda/4$.

Impedansi masukan pada transformator, $Z_{in} = Z_0$, karena sesuai. Untuk saluran $\lambda/4$, impedansi masukan ini adalah

$$Z_{in} = \frac{Z_{0,1}^2}{Z_L} = Z_0, \quad \Rightarrow \quad Z_{0,1} = \sqrt{Z_0 Z_L} \quad (2.13)$$

karena $Z_{0,1}$ riil, maka Z_L harus riil. Untuk frekuensi lain, panjang transformator tidak lagi seperempat panjang gelombang, karenanya impedansi pada masukan transformator tidak lagi sama dengan Z_0 . Dengan demikian beban tidak lagi sesuai dengan saluran. Tapi ada batas $VSWR$ maksimum sehingga kita masih dapat menerima ketidak sesuaian, atau kita masih menganggapnya sesuai. Biasanya nilai $VSWR$ ini adalah 1,5 yang memberikan nilai koefisien pantul $\rho = 0,2$. Dengan nilai koefisien pantul ini, persentasi daya yang diserap transformator adalah $1 - \rho^2 = 96\%$ dan yang dipantulkan 4%.

Pada frekuensi bukan f_0 , impedansi pada masukan transformator adalah dengan $\theta = \beta l$, dan

$$Z_{in} = Z_{0,1} \frac{Z_L + jZ_{0,1} \tan \theta}{Z_{0,1} + jZ_L \tan \theta} \quad \text{koefisien pantul}$$

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2.14)$$

Bila Z_{in} disubstitusikan ke persamaan (2.14), maka diperoleh

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{0,1}Z_L + jZ_{0,1}^2 \tan \theta - Z_0Z_{0,1} - jZ_0Z_L \tan \theta}{Z_{0,1}Z_L + jZ_{0,1}^2 \tan \theta + Z_0Z_{0,1} + jZ_0Z_L \tan \theta} = \frac{Z_{0,1}(Z_L - Z_0)}{Z_{0,1}(Z_L + Z_0) + j2Z_{0,1}^2 \tan \theta}$$

karena $Z_0Z_L = Z_{0,1}^2$. Harga mutlak dari koefisien pantul tersebut adalah

$$|\Gamma_{in}| = \frac{|Z_L - Z_0|}{\sqrt{(Z_L + Z_0)^2 + 4Z_LZ_0 \tan^2 \theta}} \quad (2.15)$$

Kita dapat menguraikan $(Z_L + Z_0)^2 = (Z_L - Z_0)^2 + 4Z_LZ_0$, dan kita substitusikan ke persamaan 2.15 untuk mendapatkan

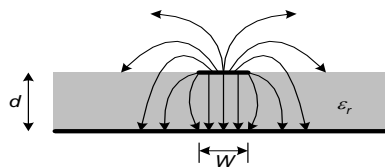
$$|\Gamma_{in}| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4Z_L Z_0 (1 + \tan^2 \theta)}{(Z_L - Z_0)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4Z_L Z_0 \sec^2 \theta}{(Z_L - Z_0)^2}}}$$

Sekarang kita batasi nilai koefisien pantul maksimum dengan ρ_m yang menghasilkan θ_m . Kemudian kita selesaikan untuk mencari solusi θ_m , maka kita dapatkan

$$\theta_m = \cos^{-1} \left(\frac{2\rho_m \sqrt{Z_L Z_0}}{|Z_L - Z_0| \sqrt{1 - \rho_m^2}} \right) \quad (2.16)$$

2.1.2.d. Saluran Mikrostrip

Berbeda dengan saluran strip, pada mikrostrip ini saluran terdiri dari konduktor strip (line) dan sebuah konduktor bidang tanah yang dipisahkan oleh medium dielektrik dengan konstanta dielektrik ϵ_r . Di atas strip adalah udara sehingga jika tanpa *shielding* sebagian medan elektromagnetik akan meradiasi, dan sebagian lagi ada yang masuk kembali ke dalam substrat dielektrik. Jadi ada dua dielektrik yang melingkupi strip: udara dengan konstanta dielektrik satu dan substrat dengan konstanta dielektrik $\epsilon_r > 1$. Dengan demikian saluran mikrostrip, secara keseluruhan dapat kita pandang sebagai sebuah saluran dengan dielektrik homogen yang lebih besar dari satu tapi lebih kecil dari ϵ_r . Konstanta dielektrik ini disebut konstanta dielektrik efektif (*effective dielectric constant*) (Pozar, 2012: 147-149).



Gambar 2.12 Pola Medan Listrik Pada Saluran Mikrostrip

Pendekatan yang mudah untuk menganalisis karakteristik saluran adalah dengan menganggap medium yang memisahkan kedua konduktor adalah udara. Pada kasus ini bidang tanah bertindak sebagai cermin sehingga mempunyai saluran yang lebarnya sama dan berjarak $2d$ satu sama lain. Kemudian mencari kapasitansi terdistribusi antara kedua saluran ini, disebut C_0 . Konstanta dielektrik efektif adalah perbandingan antara kapasitansi terdistribusi saluran dengan dielektrik terhadap C_0 . Jadi konstanta dielektrik efektif,

$$1 < \varepsilon_e = \frac{C}{C_0} < \varepsilon_r \quad (2.17)$$

Dalam perancangan saluran mikrostrip, jika diketahui nilai impedansi karakteristik Z_0 dan konstanta dielektrik ε_r , maka lebar strip dapat dicari.

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A}-2} & W/d < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\varepsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\varepsilon_r} \right) \right] & W/d > 2 \end{cases} \quad (2.18)$$

Dengan

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r} \right) \quad (2.19)$$

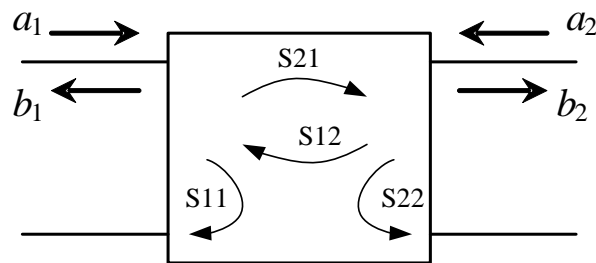
$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2.20)$$

2.1.2.e. Scattering Parameter

Scattering parameters atau disebut juga parameter-S merupakan suatu parameter yang menunjukkan suatu relasi atau hubungan antara tegangan untuk gelombang datang dengan tegangan untuk gelombang pantul dan umumnya digunakan untuk menganalisa sebuah rangkaian empat kutub (*two-port network*) yang bekerja pada frekuensi RF dan gelombang mikro. Pada gambar 2.13 dapat dilihat relasi antar sinyal yang datang dan keluar pada *two-port network* dimana:

(Orfanidis, 2014: 663-667).

- a_1 merepresentasikan sinyal yang datang ke rangkaian *two port*.
- b_1 merepresentasikan sinyal datang yang dipantulkan oleh rangkaian *two port*.
- a_2 merepresentasikan sinyal pantul dari arah beban menuju rangkaian *two port*.
- b_2 merepresentasikan sinyal yang keluar dari rangkaian *two port*.



Gambar 2.13 Relasi S-Parameter Pada Rangkaian *Two-Port Network*

Dari keterangan diatas dapat disimpulkan bahwa hubungan gelombang-gelombang tersebut memiliki relasi sebagai berikut:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (2.21)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2$$

Jika persamaan (2.21) direpresentasikan dalam bentuk matriks, maka akan menjadi seperti: (Ramana,dkk., 2007 : 13)

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Hubungan diatas mengacu pada perjanjian bahwa arah gelombang, b_1 dan b_2 meninggalkan rangkaian *two-port network*, dan a_1 dan a_2 menuju rangkaian *two-port network*. Berdasarkan persamaan (2.32), maka kita dapat menuliskan, gelombang datang dan gelombang pantul pada *two-port network* dengan :

$$\begin{aligned}
a_1 &= \frac{V_1 + Z_{01}I_1}{2\sqrt{Z_{01}}} \\
a_2 &= \frac{V_2 + Z_{02}I_2}{2\sqrt{Z_{02}}} \\
b_1 &= \frac{V_1 - Z_{01}I_1}{2\sqrt{Z_{01}}} \\
a_2 &= \frac{V_2 - Z_{02}I_2}{2\sqrt{Z_{02}}}
\end{aligned} \tag{2.23}$$

Dengan perjanjian arah arus seperti sebelumnya, maka S_{11} , S_{12} , S_{21} , dan S_{22} disebut parameter-S (hamburan) pada rangkaian *two-port network*. Dari persamaan (2.32) dapat ditentukan S_{11} dan S_{21} dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
S_{11} &= \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \\
S_{12} &= \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \\
S_{21} &= \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \\
S_{22} &= \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}
\end{aligned} \tag{2.24}$$

Artinya, sumber kita hubungkan ke *port* 1, kemudian ukur S_{11} sebagai perbandingan antara b_1 dan a_1 , dalam keadaan $a_2 = 0$. S_{11} adalah koefisien pantul di *port* 1 pada keadaan tidak ada daya yang datang dari *port* 2 ke *port* 1, atau dengan kata lain, *port* 2 dihubungkan dengan beban yang sesuai. S_{21} adalah koefisien transmisi dari *port* 1 ke *port* 2, pada keadaan yang sama, $a_2 = 0$. Dengan cara yang sama S_{22} dan S_{12} adalah koefisien pantul di *port* 2 dan koefisien transmisi dari *port* 2 ke *port* 1, pada keadaan $a_1 = 0$.

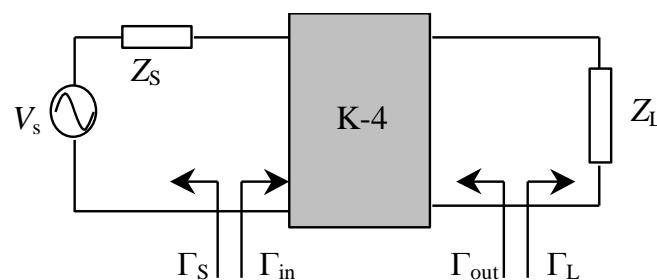
Dari penjelasan di atas, terlihat bahwa parameter-S dapat diukur pada keadaan *match* (sesuai), tidak lagi hubung singkat atau hubung terbuka. Dengan

keadaan sesuai, pemakaian saluran transmisi menjadi tidak masalah, karena selama beban sesuai dengan saluran, pada jarak berapapun impedansi itu tetap, tidak berubah.

2.1.2.f. Parameter LNA

f.1. Kestabilan

Kestabilan pada perancangan penguat adalah hal pertama yang harus diperhatikan, sebelum yang lainnya. Kestabilan dapat ditentukan dengan menghitung faktor kestabilan berdasarkan parameter hamburan yang diperoleh dari *datasheet* ketika kita memilih transistor yang akan kita gunakan. Perhatikan sebuah rangkaian *two-port network* yang terpasang dengan sumber dan beban seperti pada gambar (2.14). Impedansi sumber dan beban biasanya riil dan berharga 50Ω . Dengan demikian, jika kita melihat dari sumber rangkaian *two-port network* maka didapatkan koefisien pantul masukan Γ_{in} , sedangkan jika melihat ke arah sumber didapatkan Γ_s . Dikeluaran, dengan cara yang sama kita mempunyai Γ_{out} dan Γ_L jika kita melihat ke rangkaian *two-port network* dan ke beban. *Conjugate match* diperoleh jika $\Gamma_{in} = \Gamma_s^*$ dan $\Gamma_{out} = \Gamma_L^*$. Gambar 2.14 merupakan representasi dari koefisien refleksi (Pozar, 2012: 564-567).



Gambar 2.14 *Two-Port Network* Dengan Sumber Dan Beban

Pada beban Z_L , b_2 adalah gelombang datang dan a_2 gelombang pantul, sehingga a_2/b_2 adalah koefisien pantul beban Γ_L . Jika baris kedua dari persamaan (2.24) kita bagi dengan a_2 , kita dapatkan

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \quad (2.25)$$

dan baris pertama kita bagi dengan a_1 , kemudian mensubstitusikan a_2/a_1 seperti di atas kita peroleh persamaan koefisien pantul di masukan Γ_{in}

$$\Gamma_{in} = \frac{S_{11} - \Delta\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} = \frac{\Delta\Gamma_L - S_{11}}{S_{22}\Gamma_L - 1} \quad (2.26)$$

Dengan,

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (2.27)$$

Dengan cara yang sama dapat kita lakukan untuk memperoleh koefisien pantul di keluaran, hasilnya adalah

$$\Gamma_{out} = \frac{S_{22} - \Delta\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} = \frac{\Delta\Gamma_S - S_{22}}{S_{11}\Gamma_S - 1} \quad (2.28)$$

Penguat dikatakan stabil jika $|\Gamma_{in}| < 1$ dan $|\Gamma_{out}| < 1$ untuk semua harga $|\Gamma_L| < 1$ dan $|\Gamma_S| < 1$. Batas antara daerah stabil dan daerah tidak stabil adalah $|\Gamma_{in}| = 1$ ($|\Gamma_{out}| = 1$). Sekarang kita set harga mutlak dari (2.28) sama dengan satu, atau

$$\left| \frac{\Delta\Gamma_L - S_{11}}{S_{22}\Gamma_L - 1} \right| = 1 \quad (2.29)$$

Pusat dan jari-jari lingkaran kestabilan beban adalah

$$C_L = \frac{S_{22}^* - \Delta^* S_{11}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \quad (2.30)$$

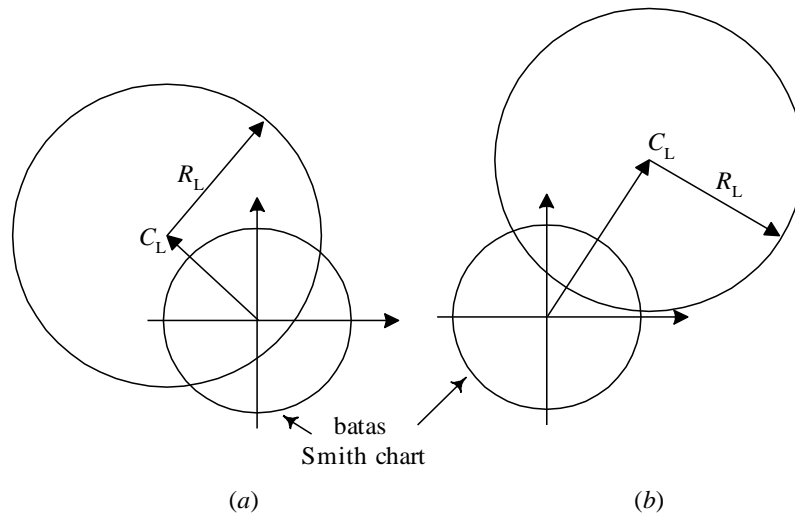
$$R_L = \frac{|S_{12}S_{21}|}{\left| |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 \right|}$$

Jika menggunakan persamaan (2.30) diperoleh lingkaran kestabilan sumber (*source stability circle*) yang pusat dan jari-jarinya

$$\begin{aligned} C_S &= \frac{S_{11}^* - \Delta^* S_{22}}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} \\ R_S &= \frac{|S_{12}S_{21}|}{\left| |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 \right|} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Penjelasan selanjutnya adalah penjelasan untuk menurunkan persamaan-persamaan kestabilan dari kestabilan beban. Untuk kestabilan sumber dilakukan dengan cara yang sama.

Persamaan lingkaran pada persamaan (2.30) mungkin meliputi pusat diagram Smith ($\Gamma_L = 0$) atau mungkin juga tidak, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.15 terlihat bahwa lingkaran kestabilan ini membagi dua daerah, yaitu daerah di luar lingkaran kestabilan dan daerah di dalam lingkaran kestabilan. Untuk mengetahui mana daerah yang stabil, kita harus mengeceknya yaitu dengan cara memilih $\Gamma_L = 0$ (pusat Diagram Smith) untuk disubstitusikan untuk mendapatkan $|\Gamma_{in}| = |S_{11}|$. Jika $|S_{11}| < 1$, maka $|\Gamma_{in}| < 1$, yang berarti daerah yang memuat pusat Diagram Smith adalah daerah stabil. Jika sebaliknya, maka daerah yang memuat pusat Diagram Smith adalah daerah tidak stabil. Agar lebih jelas kita akan membahas masalah ini kasus per kasus. Jika penguat stabil untuk setiap impedansi sumber dan beban pasif, maka divais tersebut dikatakan stabil secara mutlak (*absolutely stable*). Jika penguat hanya stabil untuk beberapa impedansi sumber dan beban, kestabilannya disebut stabil bersyarat (*conditionally stable*). Untuk setiap jenis kestabilan kita mempunyai dua kasus.



Gambar 2.15 Plot Lingkaran Kestabilan Beban Pada Diagram Smith (a) Pusat Diagram Smith Berada Di Dalam Lingkaran Kestabilan ; (b) Pusat Diagram Smith Berada Diluar Lingkaran Kestabilan

Untuk menentukan kestabilan dapat ditentukan dengan faktor K yang mempunyai nilai berdasarkan persamaan berikut:

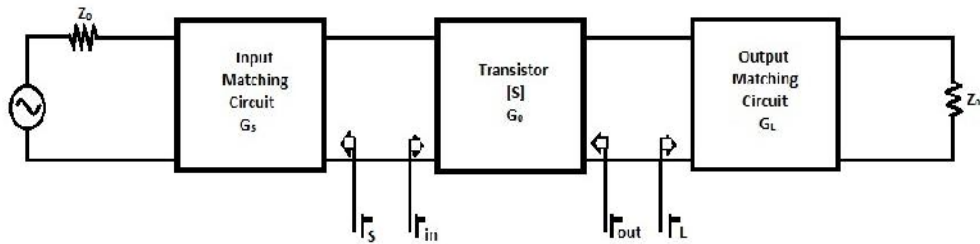
$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{21}S_{12}|} \quad (2.32)$$

Nilai Δ dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.27). Syarat yang harus dipenuhi agar sistem stabil adalah $K > 1$ dan $\Delta < 1$.

f.2. Gain

Gain merupakan perbandingan antara sinyal keluaran sistem terhadap sinyal masukan sistem. Pada perancangan LNA *gain* ada 3 jenis, yaitu (Orfanidis, 2014: 677-680).

1. *Tranducer power gain (GT)*
2. *Operating power gain (GP)*
3. *Available power gain (GA)*



Gambar 2.16 Blok Diagram Gain Pada Transistor, *Input* Dan *Output Matching*

Transducer Power Gain (GT)

Perbandingan antara daya yang dikirim ke beban dengan daya yang tersedia pada sumber disebut *Transducer Power Gain*.

$$G_T = \frac{|S_{21}|^2(1-|\Gamma_S|^2)(1-|\Gamma_L|^2)}{|1-\Gamma_S\Gamma_{in}|^2|1-S_{22}\Gamma_L|^2} \quad (2.33)$$

dimana,

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1-S_{22}\Gamma_L} \quad (2.34)$$

Operating Power Gain (GP)

Perbandingan antara daya yang dikirim ke beban dengan daya yang masuk ke rangkaian disebut *Operating Power Gain*.

$$G_P = \frac{|S_{21}|^2(1-|\Gamma_L|^2)}{(1-|\Gamma_{in}|^2)|1-S_{22}\Gamma_L|^2} = \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| \left[k - \sqrt{k-1} \right] \quad (2.35)$$

Available Power Gain (GA)

Perbandingan antara daya yang tersedia dari rangkaian terhadap daya dari sumber disebut *Available Power Gain*.

$$G_A = \frac{|S_{21}|^2(1-|\Gamma_S|^2)}{(1-|\Gamma_{out}|^2)|1-S_{11}\Gamma_S|^2} \quad (2.36)$$

dimana,

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1-S_{11}\Gamma_S} \quad (2.37)$$

Berdasarkan gambar, apabila rangkaian *unilateral*, dimana $S_{12} = 0$, maka $\Gamma_{in} = S_{11}$, $\Gamma_{out} = S_{22}$.

f.3. Noise Figure

Noise adalah masalah dalam setiap sistem. Bahkan dalam kondisi tanpa adanya *input*, *noise* masih akan muncul pada bagian *output*. Dalam suatu penguat, *noise* pada *output* adalah *noise input* yang dikuatkan ditambah dengan *noise* yang dibangkitkan oleh penguat itu sendiri. Sinyal yang besar tidak menjamin memberikan hasil yang bagus, jika *noise* juga besar. *Signal to noise ratio* (S/N atau SNR) menyatakan seberapa besar sinyal dibandingkan dengan *noise* yang hadir.

Salah satu parameter penting dalam *design* suatu penguat adalah *noise figure*. *Noise figure* didefinisikan sebagai perbandingan *signal to noise ratio* pada *input* terhadap *output* (Pozar, 2012: 580-581).

$$F = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} = \frac{S_i N_o}{S_o N_i} \quad (2.38)$$

Noise figure penguat rangkaian *two-port network* adalah :

$$\begin{aligned} F &= F_{min} + \frac{r_n}{g_s} |y_s - y_o|^2 \\ &= F_{min} + \frac{r_n}{g_s} [(g_s - g_o)^2 + (b_s - b_o)^2] \end{aligned} \quad (2.39)$$

Dimana :

F_{min} = *noise figure* minimum, yang merupakan fungsi arus dan frekuensi kerja piranti.

r_n = R_n/Z_o adalah resistansi *noise* ternormalisasi

$y_s = g_s + jb_s$ adalah admitansi sumber ternormalisasi
 $y_o = g_o + jb_o$ adalah admitansi sumber optimum ternormalisasi, yang menghasilkan *noise figure* minimum.

Admitansi *source* ternormalisasi bisa ditulis dalam bentuk koefisien pantul sumber Γ_s sebagai :

$$y_s = \frac{1 - \Gamma_s}{1 + \Gamma_s} \quad (2.40)$$

Dengan cara yang sama, admitansi sumber optimum ternormalisasi dinyatakan :

$$y_o = \frac{1 - \Gamma_o}{1 + \Gamma_o} \quad (2.41)$$

Dimana Γ_o adalah koefisien pantul sumber optimum yang menghasilkan *noise figure* minimum.

Substitusi persamaan 2.38 dan 2.39 menghasilkan persamaan untuk *noise figure* sebagai berikut :

$$F = F_{min} + \frac{4r_n |\Gamma_s - \Gamma_{opt}|^2}{(1 - |\Gamma_s|^2) |1 + \Gamma_{opt}|^2} \quad (2.42)$$

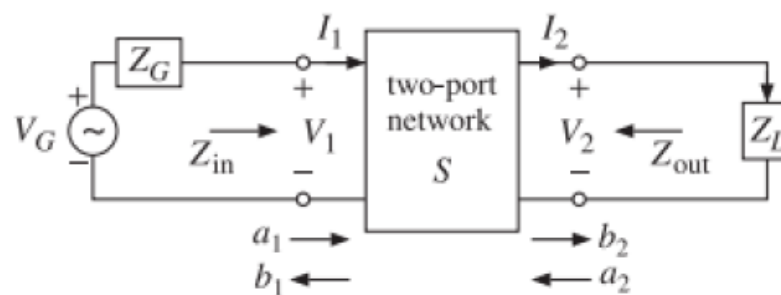
Resistansi r_n bisa diperoleh dengan mengukur F untuk $\Gamma_s = 0$ dengan sumber menggunakan resistansi 50Ω . Maka :

$$r_n = (F_{\Gamma_s=0} - F) \frac{|1 + \Gamma_o|^2}{4|\Gamma_o|^2} \quad (2.43)$$

f.4. Return Loss

Ketika kondisi beban tidak sesuai (*mismatch*) akan menyebabkan hilangnya daya yang berasal dari sumber menuju beban. *Return loss* diartikan sebagai perbandingan amplitudo antara gelombang yang direfleksikan dengan gelombang yang dikirimkan. *Return loss* terjadi karena adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan, sehingga menyebabkan hilangnya daya yang diradiasikan dan dipantulkan kembali.

Return loss pada masukan (*input return loss*) menandakan terjadinya *mismatch* antara impedansi masukan LNA dengan impedansi karakteristik saluran transmisi. Begitu juga untuk *return loss* pada keluaran (*output return loss*) yang menandakan terjadinya *mismatch* antara impedansi keluaran LNA dengan impedansi karakteristik saluran transmisi. Berikut adalah suatu sistem dengan 2 *port* yang dihubungkan ke generator dan beban.



Gambar 2.17 *Two Port Network*

Dalam sistem tersebut impedansi input (Z_{in}) tidak sama dengan impedansi karakteristik (Z_0) maka akan terjadi daya yang dipantulkan (akibat tidak *matching*). Perbandingan dari daya yang dipantulkan terhadap daya yang ditransmisikan disebut koefisien refleksi, yang apabila jika nilainya dikonversi dalam satuan dB sering disebut sebagai *return loss*. Koefisien refleksi pada *port* 1 (*input*) dituliskan sebagai berikut: (Orfanidis, 2014: 669-670)

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2.44)$$

Nilai S_{11} (*input return loss*) dalam desibel (dB) ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$S_{11}(dB) = 20 \log_{10} |\Gamma_{in}| \quad (2.45)$$

Sedangkan untuk Koefisien refleksi pada *port 2 (output)* dituliskan sebagai berikut:

$$\Gamma_{out} = \frac{Z_{out}-Z_0}{Z_{out}+Z_0} \quad (2.46)$$

Nilai S_{22} (*output return loss*) dalam desibel (dB) ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$S_{22}(dB) = 20 \log_{10}|\Gamma_{out}| \quad (2.47)$$

f.4. VSWR

VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) adalah rasio atau perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V_{max}|$) dengan minimum ($|V_{min}|$). Munculnya gelombang berdiri ini, disebabkan oleh ketidakmampuan di *transmission line* sehingga menghasilkan daya yang terdisipasi dalam bentuk panas. Dalam suatu saluran transmisi yang tidak *matching* terdapat dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan atau *forward voltage* (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan atau *reflected voltage* (V_0^-). Perbandingan antar keduanya menghasilkan istilah koefisien refleksi tegangan (Γ) yang dirumuskan sebagai berikut: (Pozar, 2012: 57-58)

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L-Z_0}{Z_L+Z_0} \quad (2.48)$$

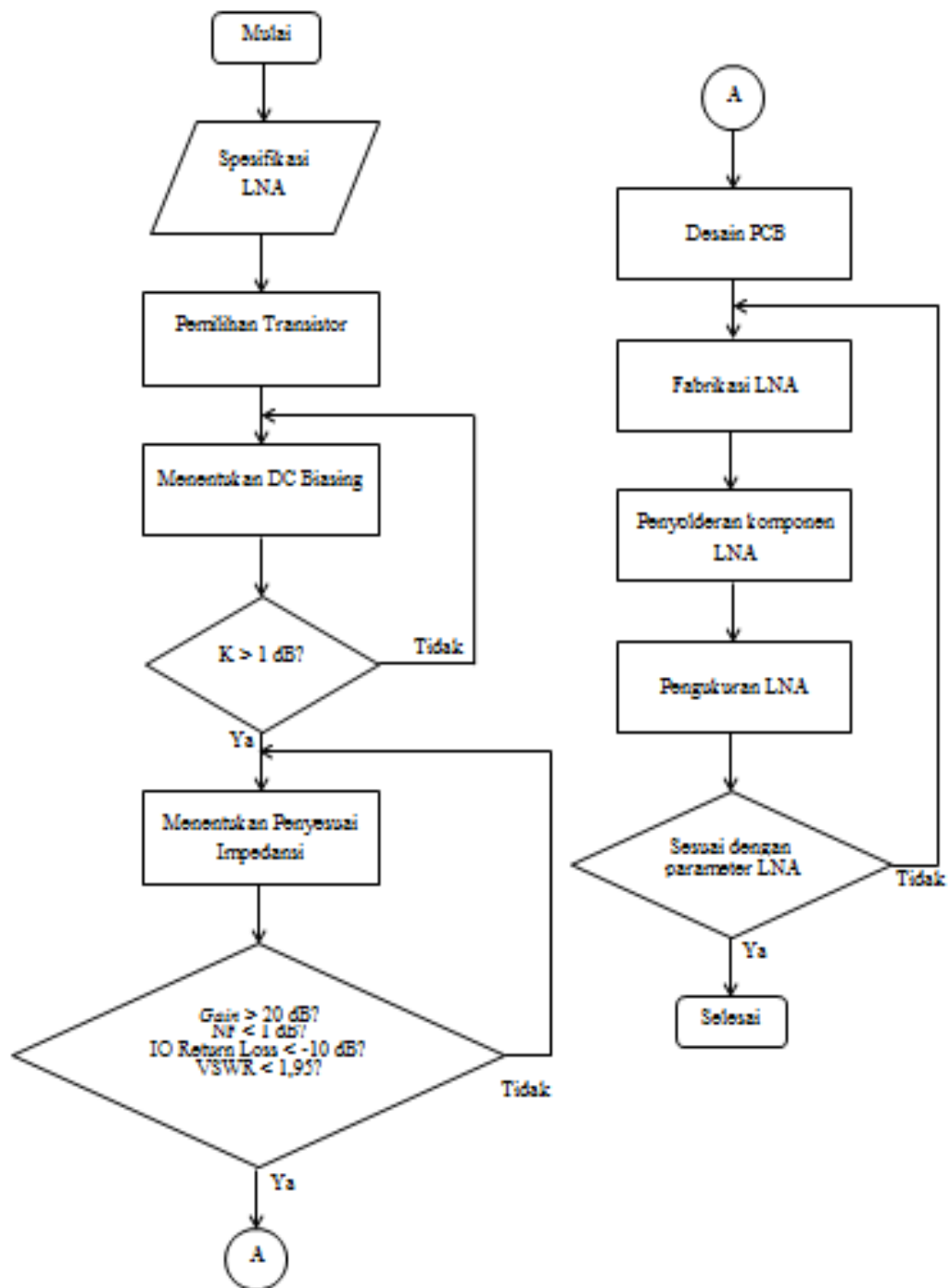
Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang menandakan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. VSWR merupakan fungsi dari koefisien refleksi dan dirumuskan sebagai berikut:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.49)$$

Pada kondisi terbaik dicapai saat tidak ada disipasi panas atau *loss* yaitu saat nilai $Z_L = Z_0$. Kondisi tersebut merupakan kondisi *matching* sempurna dengan nilai koefisien refleksi 0 dan VSWR 1. Namun dalam kenyataannya, kondisi ini sangat sulit dicapai. Oleh karena itu dibuat nilai standar untuk VSWR yang diizinkan yaitu $VSWR \leq 1,95$. Nilai VSWR sebesar 1,95 sama dengan S_{11} atau S_{22} sebesar -10 dB.

2.2. Kerangka Berfikir

Dengan adanya teori yang telah dijelaskan sebelumnya, maka teori tersebut menjadi dasar penelitian dan pengembangan untuk merancang *Low Noise Amplifier* (LNA) 2 tingkat dengan metode penyesuaian impedansi $\lambda/4$. Untuk mengetahui lebih lanjut maka diperlukan studi literatur yang komprehensif, melakukan simulasi LNA dengan menggunakan perangkat lunak yang akurat, dan menguji LNA menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer* sehingga flowchart penelitian tersebut jelas kemana arah penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 2.18 Diagram Alir Penelitian

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Telekomunikasi Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta pada bulan Mei - Desember 2016. Sedangkan untuk pengukuran dilaksanakan di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (P2ET) LIPI Bandung. Waktu tersebut cukup efektif untuk menyelesaikan penelitian.

3.2. Metode Pengembangan Produk

3.2.1. Tujuan Pengembangan

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk merancang, mensimulasikan, membuat dan menguji parameter *Low Noise Amplifier* pada frekuensi 1,500 – 1,650 GHz untuk menghasilkan nilai kestabilan > 1 , gain > 20 dB, noise figure (NF) < 1 , return loss < -10 dB, dan VSWR $< 1,92$.

3.2.2. Metode Pengembangan

Metode penelitian yang digunakan adalah metode *Research and Development* (R&D). Penulis mengambil beberapa langkah penelitian pengembangan, yaitu potensi dan masalah, pengumpulan data, desain produk, validasi desain dan uji coba produk.



Gambar 3.1 Langkah-Langkah Pengembangan Metode R&D

(Sugiyono, 2009: 298)

1. Potensi dan Masalah

Potensi adalah segala sesuatu yang bila didayagunakan akan memiliki nilai tambah. Sedangkan masalah adalah penyimpangan antara yang diharapkan dengan yang terjadi. Penelitian bermula dari adanya potensi dan masalah pada perkembangan teknologi GPS yang masih terdapat kesalahan sistem sehingga akan mempengaruhi hasil yang diperoleh.

2. Pengumpulan Data

Pada pengumpulan data dikumpulkan berbagai informasi yang dapat digunakan sebagai bahan untuk perencanaan desain LNA yang diharapkan dapat mengatasi masalah tersebut.

3. Desain Produk

Produk yang dihasilkan dalam peneliiian yaitu *Low Noise Amplifier*, didesain dengan bantuan *software* simulasi yakni menggunakan *Advanced Design Sysem* 2011 dan *Alitum Designer Summer* 2013 untuk membuat layout dalam perancangan yang sesuai dengan pengumpulan data.

4. Validasi Desain

Validasi desain merupakan hasil simulasi dari desain produk pada software simulasi, dimana untuk menilai apakah rancangan LNA sesuai dengan yang diharapkan.

5. Perbaikan Desain

Pada perbaikan desain akan diketahui kelemahannya. Kelemahan tersebut selanjutnya diperbaiki sehingga dapat mengurangi kesalahan pada tahap berikutnya.

6. Uji Coba Produk

Produk yang telah dibuat kemudian diuji meliputi hasil pabrikan LNA serta pengukuran hasil pabrikan. Pada tahap ini menunjukkan bahwa kinerja rangkaian LNA sesuai dengan yang diharapkan.

7. Revisi Produk

Setelah produk diuji maka didapatkan hasil kerja dari LNA tersebut, apabila terdapat kelemahan atau kekurangan pada hasil parameter yang diuji maka desain produk perlu direvisi agar mencapai spesifikasi LNA yang diharapkan.

8. Uji Coba Pemakaian

Setelah pengujian terhadap produk berhasil dan ada revisi, maka selanjutnya produk dapat diimplementasikan terhadap perangkat GPS. Dalam penerapannya, sistem kerja LNA harus dinilai kekurangan atau hambatan yang muncul untuk perbaikan lebih lanjut.

9. Revisi Produk

Revisi produk dilakukan apabila dalam penerapan rangkaian LNA masih terdapat kekurangan dan kelemahan. Pada tahap ini penulis harus selalu

mengevaluasi kinerja produknya untuk mengetahui kelemahan yang ada sehingga dapat digunakan untuk penyempurnaan dan pembuatan produk baru lagi.

10. Pembuatan Produk Masal

Pembuatan produk masal ini dilakukan apabila produk yang telah diujicoba dinyatakan efektif dan layak untuk diproduksi masal. Untuk dapat memproduksi masal, maka penulis perlu bekerja sama dengan perusahaan.

3.2.3. Sasaran Produk

Sasaran produk dalam penelitian ini yaitu penggunaan Low Noise Amplifier 2 tingkat yang dirancang dengan mengikuti parameter LNA yang sesuai dengan karakteristik LNA dan dapat digunakan pada frekuensi 1,500 – 1,650 GHz.

3.2.4. Instrumen

Pada penelitian ini, instrumen yang digunakan adalah peneliti dan alat penunjang lainnya. Berikut alat penunjang yang dibutuhkan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

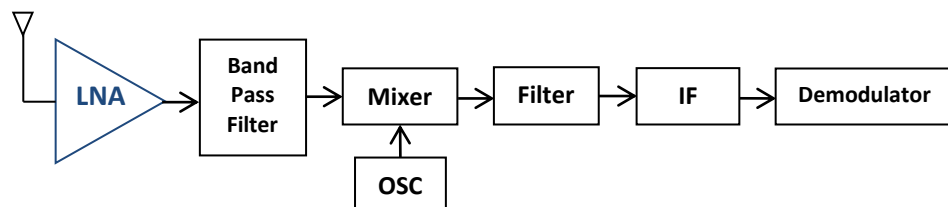
- a. Software Advanced Design System (ADS) 2011
- b. Software Altium Designer Summer 2013
- c. Vector Network Analyzer (VNA) tipe Advantest R3770
- d. Signal Generator tipe Rohde & Schwarz SMJ 100A, RF 100 kHz - 6 GHz
- e. Spectrum Analyzer tipe Rohde & Schwarz RF input 9 kHz – 8 GHz
- f. Power Supply
- g. Noise Source tipe Noise Com Inc.

Namun peneliti dapat menyesuaikan diri dari semua aspek pendukung dalam penentuan perancangan, prosedur pengembangan, pengumpulan data, dan analisis data hingga pada hasil kesimpulan dari penelitian.

3.3. Prosedur Pengembangan

3.3.1. Tahap Penelitian dan Pengumpulan Informasi

Pada umumnya, *receiver* memiliki kemampuan untuk menyaring sinyal yang diterimanya agar sesuai dengan pendeteksian yang diinginkan, dapat memperkuat sinyal objek yang lemah dan meneruskan sinyal objek tersebut ke pemroses data dan sinyal (*signal and data processor*), dan kemudian menampilkan gambarnya di layar monitor (*display*). Perangkat yang dapat memperkuat sinyal objek yang lemah untuk diteruskan ke pemroses data dan sinyal disebut dengan *Low Noise Amplifier* (LNA).



Gambar 3.2 Skema Blok Diagram RF

Low Noise Amplifier (LNA) merupakan suatu bentuk perangkat elektronika atau perangkat yang digunakan dalam sistem telekomunikasi yang berfungsi untuk menguatkan sinyal yang sangat lemah tanpa harus menambahkan *noise* yang diterima oleh antena maupun dari perangkat itu sendiri. Kinerja dari LNA adalah menjaga kestabilan *Signal to Noise Ratio* (SNR) dari sebuah sistem. Dalam penelitian ini, LNA yang akan dirancang harus memenuhi beberapa

parameter yang perlu diperhatikan yaitu faktor kestabilan, *gain*, *noise figure*, *input* dan *output matching impedance*, *VSWR* dan Bias DC.

3.3.2. Tahap Perencanaan

Rancangan penelitian adalah suatu rencana yang komprehensif dan memiliki tujuan yang terarah dalam melakukan penelitian untuk menghasilkan nilai pada parameter LNA yang diinginkan. Beberapa hal yang dilakukan dalam perancangan LNA pada frekuensi kerja 1,500 – 1,650 GHz sebagai berikut:

3.3.2.a. Menentukan Spesifikasi LNA

Untuk merancang suatu LNA, langkah pertama adalah menentukan spesifikasi yang diinginkan. Spesifikasi LNA yang digunakan dalam sistem receiver berdasarkan pada datasheet dan dapat dilihat pada Tabel 3.1. Adapun spesifikasi yang dimaksud sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi LNA

Parameter	Nilai
Frekuensi kerja	1,500 – 1,650 GHz
Kestabilan	> 1
Gain (S_{21})	> 20 dB
Noise Figure	< 1 dB
Input Return Loss (S_{11})	< -10 dB
Output Return Loss (S_{22})	< -10 dB
VSWR input & output	< 1,92

3.3.2.b. Menentukan Jenis Substrat

Dalam pemilihan jenis substrat dibutuhkan pengetahuan tentang spesifikasi umum dari substrat tersebut, kualitasnya, ketersediannya, dan yang tidak kalah penting adalah harga atau biaya yang harus dikeluarkan untuk mendapatkannya. Pada skripsi ini digunakan substrat Rogers 4350B. Dengan spesifikasi pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Substrat Rogers 4350B

Material Set	Default
Type	Normal
Relative Dielectric Constant (Er)	3.48
Substrate Thickness (H)	1,524 mm
Conductor Thickness (T)	0,035 mm
Dielectric Loss Tangent (TanD)	0.0037
EM (HF) properties measured @ 1,575 GHz	

3.3.2.c. Menentukan Jenis Transistor

Dalam menentukan transistor yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, hal yang harus diperhatikan adalah konsumsi daya yang rendah, *noise figure*, dan *gain* dan juga pasaran produk transistor yang dipilih. Penentuan transistor disini dengan bantuan *software* ADS dimana terdapat *library* berbagai model transistor yang dapat digunakan untuk merancang LNA. Transistor yang

dipilih adalah produksi Infineon dengan tipe BFP420 dengan DC bias $V_{CE} = 2 \text{ V}$ dan $I_C = 10 \text{ mA}$. Berikut ini merupakan karakteristik transistor menurut *datasheet*:

Electrical Characteristics at $T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified					
Parameter	Symbol	Values			Unit
		min.	typ.	max.	
DC Characteristics					
Collector-emitter breakdown voltage $I_C = 1 \text{ mA}, I_B = 0$	$V_{(BR)CEO}$	4.5	5	-	V
Collector-emitter cutoff current $V_{CE} = 15 \text{ V}, V_{BE} = 0$	I_{CES}	-	-	10	μA
Collector-base cutoff current $V_{CB} = 5 \text{ V}, I_E = 0$	I_{CBO}	-	-	100	nA
Emitter-base cutoff current $V_{EB} = 0.5 \text{ V}, I_C = 0$	I_{EBO}	-	-	3	μA
DC current gain $I_C = 20 \text{ mA}, V_{CE} = 4 \text{ V}$, pulse measured	h_{FE}	60	95	130	-

¹For the definition of $R_{th(j-c)}$ please refer to Application Note AN077 (Thermal Resistance Calculation)

Gambar 3.3 Karakteristik DC Dari Transistor BFP-420 Dari *Datasheet*

Electrical Characteristics at $T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified					
Parameter	Symbol	Values			Unit
		min.	typ.	max.	
AC Characteristics (verified by random sampling)					
Transition frequency $I_C = 30 \text{ mA}, V_{CE} = 3 \text{ V}, f = 2 \text{ GHz}$	f_T	18	25	-	GHz
Collector-base capacitance $V_{CB} = 2 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, V_{BE} = 0$, emitter grounded	C_{cb}	-	0.15	0.3	pF
Collector emitter capacitance $V_{CE} = 2 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, V_{BE} = 0$, base grounded	C_{ce}	-	0.37	-	
Emitter-base capacitance $V_{EB} = 0.5 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, V_{CB} = 0$, collector grounded	C_{eb}	-	0.55	-	
Minimum noise figure $I_C = 5 \text{ mA}, V_{CE} = 2 \text{ V}, f = 1.8 \text{ GHz}, Z_S = Z_{Sopt}$	NF_{min}	-	1.1	-	dB
Power gain, maximum stable ¹⁾ $I_C = 20 \text{ mA}, V_{CE} = 2 \text{ V}, Z_S = Z_{Sopt}$, $Z_L = Z_{Lopt}, f = 1.8 \text{ GHz}$	G_{ms}	-	21	-	dB
Insertion power gain $V_{CE} = 2 \text{ V}, I_C = 20 \text{ mA}, f = 1.8 \text{ GHz}$, $Z_S = Z_L = 50 \Omega$	$ S_{21} ^2$	14	17	-	
Third order intercept point at output ²⁾ $V_{CE} = 2 \text{ V}, I_C = 20 \text{ mA}, f = 1.8 \text{ GHz}$, $Z_S = Z_L = 50 \Omega$	$IP3$	-	22	-	dBm
1dB compression point at output $I_C = 20 \text{ mA}, V_{CE} = 2 \text{ V}, Z_S = Z_L = 50 \Omega$, $f = 1.8 \text{ GHz}$	P_{-1dB}	-	12	-	

¹⁾ $G_{ms} = |S_{21}| / |S_{12}|$

²⁾ $IP3$ value depends on termination of all intermodulation frequency components.
Termination used for this measurement is 50Ω from 0.1 MHz to 6 GHz

Gambar 3.4 Karakteristik AC Dari Transistor BFP-420 Dari *Datasheet*

ESD (Electrostatic discharge) sensitive device, observe handling precaution!

Type	Marking	Pin Configuration						Package
BFP420	AMs	1=B	2=E	3=C	4=E	-	-	SOT343

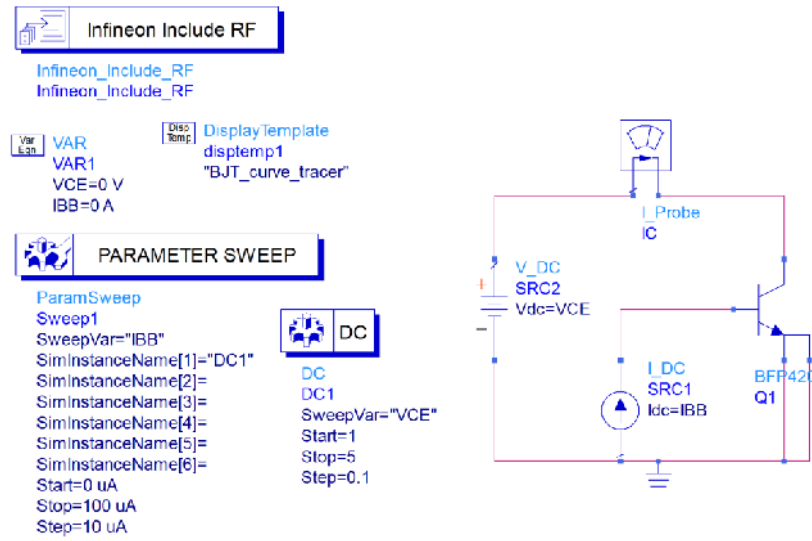
Maximum Ratings at $T_A = 25\text{ °C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Value	Unit
Collector-emitter voltage	V_{CEO}	4.5	V
$T_A = 25\text{ °C}$		4.1	
Collector-emitter voltage	V_{CES}	15	
Collector-base voltage	V_{CBO}	15	
Emitter-base voltage	V_{EBO}	1.5	
Collector current	I_C	60	
Base current	I_B	9	
Total power dissipation ¹⁾	P_{tot}	210	mW
$T_S \leq 98\text{ °C}$			
Junction temperature	T_J	150	°C
Storage temperature	T_{Stg}	-55 ... 150	

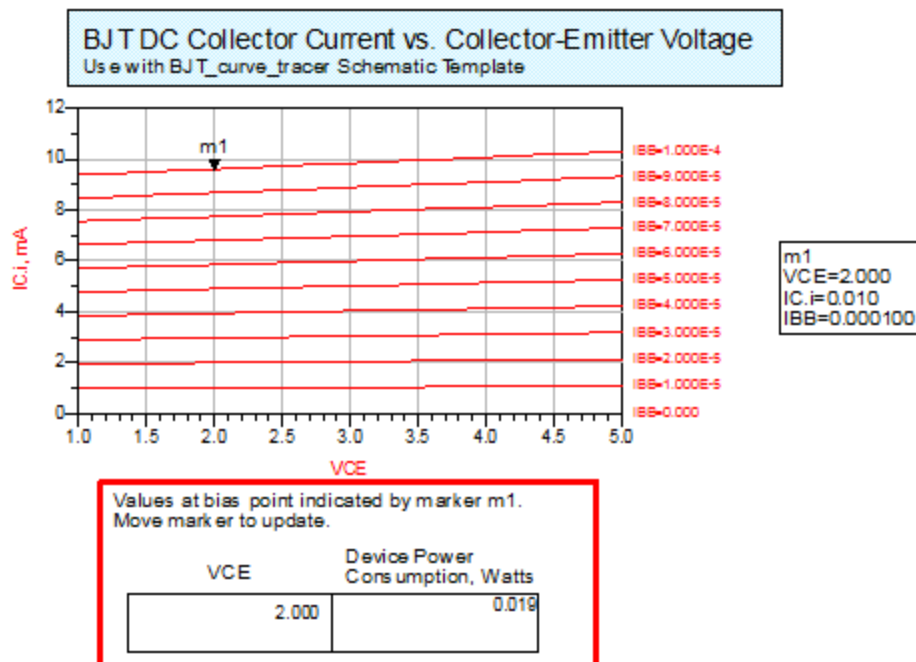
¹⁾ T_S is measured on the emitter lead at the soldering point to the pcb

Gambar 3.5 Nilai Maksimum Untuk Berbagai Parameter Pada Transistor BFP-420

Selain menggunakan *datasheet*, karakteristik transistor dapat diketahui dengan menggunakan bantuan *software* ADS 2011 buatan *Agilent Technologies*. Dengan mengunduh model rangkaian dari transistor BFP420 lalu menggunakan fitur *BJT Curve Tracer* pada ADS 2011, maka akan didapat nilai karakteristik DC dari transistor BFP420. Gambar 3.6 dan 3.7 menunjukkan bentuk rangkaian yang disimulasikan pada *software* ADS 2011 beserta kurva perbandingan arus I_C terhadap V_{CE} .



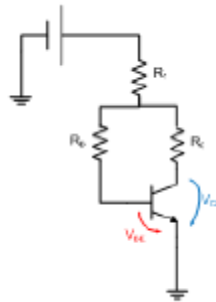
Gambar 3.6 Rangkaian Karakteristik Transistor Menggunakan ADS 2011



Gambar 3.7 Kurva Perbandingan arus I_C terhadap V_{CE} Transistor BFP-420

3.3.2.d. Menentukan Rangkaian DC Bias

Pemberian tegangan *bias* pada transistor bertujuan untuk mengaktifkan transistor dan membuat transistor bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode *fixed bias*.



Gambar 3.8 Bentuk Rangkaian DC Bias

Pada pembiasan transistor ini, peneliti merancang parameter untuk *biasing* berdasarkan *datasheet*:

- $I_C = 10 \text{ mA}$
- $V_{CE} = 2 \text{ V}$
- $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$
- $h_{FE} = 100$
- $R_1 = 100 \Omega$

Resistor R_1 berfungsi sebagai penahan spike yang sewaktu-waktu dapat muncul pada V_{CC} sehingga nilainya dapat ditentukan untuk memudahkan perhitungan KVL pada loop. Adapun perhitungannya dalam rumus yang telah dijelaskan pada bab 2 dalam persamaan 2.1 – 2.6.

3.3.2.e. Menentukan Rangkaian Penyesuai Impedansi

Teknik yang digunakan dalam rangkaian impedance matching adalah teknik *quarter-wave transformer*. Untuk membuat sebuah penyesuai impedansi dibutuhkan parameter impedansi dari rancangan penguat, dalam hal ini adalah nilai Z_s (impedansi sumber) dan Z_L (impedansi beban) atau dengan menggunakan koefisien pantul sumber (Γ_s) dan koefisien pantul beban (Γ_L). Nilai Γ_s dan Γ_L dapat dihitung menggunakan persamaan 2.13 – 2.20.

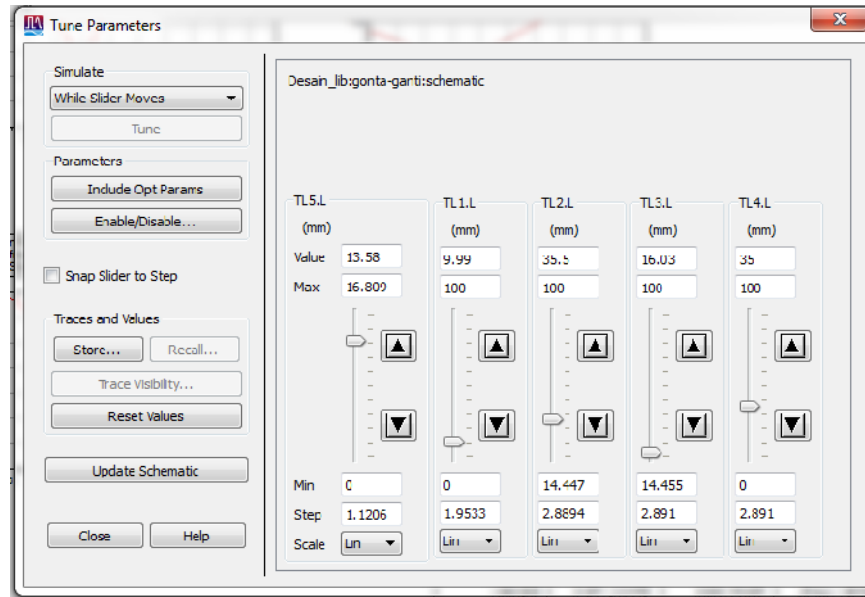
3.3.3. Tahap Desain Produk

3.3.3.a. Desain LNA Dengan *Advanced Design System 2011*

Setelah dirancang, sebaiknya rangkaian LNA disimulasikan terlebih dahulu untuk mengetahui parameter-parameter mana saja yang sudah maupun belum tercapai. Desain dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Advanced Design System (ADS) 2011*. Pada perancangan ini akan didesain *low noise amplifier* 2 tingkat dengan penyesuai impedansi $\lambda/4$.

3.3.3.b. Validasi Desain LNA

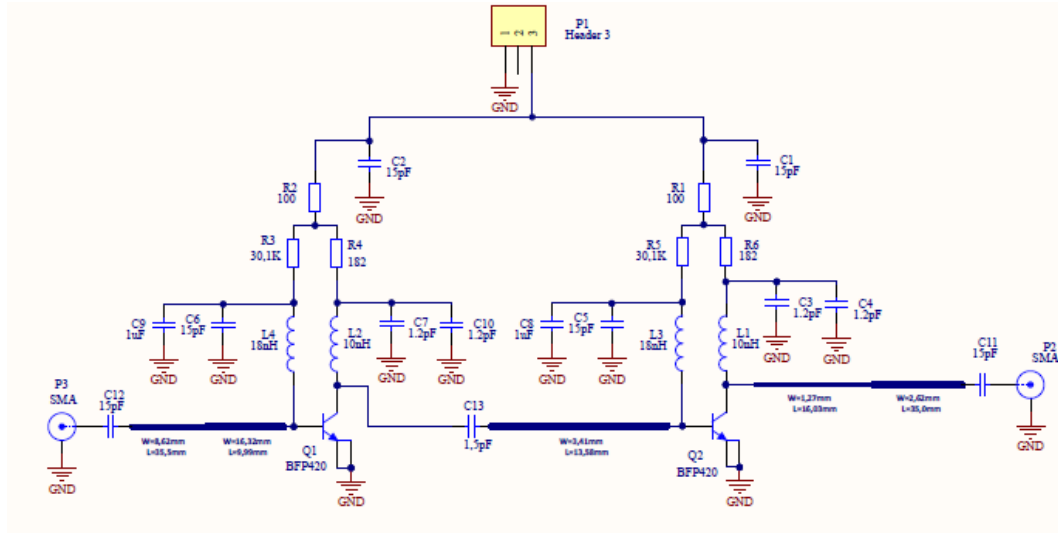
Validasi desain LNA bertujuan untuk mendapatkan nilai komponen pasif yang optimal. Optimalisasi ini dilakukan jika hasil *running* berdasarkan nilai komponen pasif pada awal hitungan tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Optimalisasi dilakukan dengan cara mengubah besaran nilai komponen (proses *tunning*). Proses *tunning* ini diutamakan pada penyesuai impedansi *input* dan *output* rangkaian LNA. Adapun tampilan *tunning* pada ADS dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.9 Tampilan *Tuning* Pada *Software* ADS

3.3.3.c. Desain *Layout* Rangkaian LNA Dengan Altium 2013

Setelah nilai komponen dan *strip line* sudah ditetapkan, maka yang harus dilakukan adalah membuat *layout* rangkaian LNA dengan bantuan perangkat lunak Altium 2013. Sebelum membuat *layout*, pastikan jarak antar kaki komponen telah diketahui agar pada saat penyolderan komponen tersebut sesuai (pas) dengan *pad*. Agar lebih mudah dalam membuat *layout*, maka skema rangkaian LNA dirangkai kembali pada Altium terlebih dahulu seperti berikut ini:



Gambar 3.10 Desain Skema Rangkaian LNA Pada *Software* Altium 2013

3.3.3.d. Uji Coba Produk

d.1. Fabrikasi LNA

Dalam fabrikasi *low noise amplifier* penulis tidak mengerjakan sendiri akan tetapi menggunakan jasa dari Spectra yang bertempat di Bandung. Bentuk format yang dikirim ke Spectra berupa .pdf yang sebelumnya telah dibuat *layoutnya* dengan menggunakan *software* Altium 2013.

Selanjutnya mengirim hasil desain LNA ke Spectra dan memberikan substrat yang telah diukur terlebih dahulu panjang dan lebarnya agar dalam proses fabrikasi substrat tidak kekurangan. Langkah selanjutnya ketika LNA telah selesai difabrikasi yaitu membandingkan desain LNA pada *layout* yang telah dibuat pada *software* Altium 2013 dengan hasil fabrikasi.



Mengukur dimensi LNA yang telah difabrikasi dengan menggunakan penggaris untuk ukuran dimensi pcb dan jarak antar kaki komponen LNA. Hasil




pengukuran dimensi LNA yang telah difabrikasi dibandingkan dengan dimensi LNA pada *software* Altium 2013. Kemudian mengecek jalur pada pcb menggunakan multimeter, apakah jalur LNA *short* atau *open* sesuai dengan rangkaian LNA yang dirancang.

d.2. Penyolderan Komponen LNA

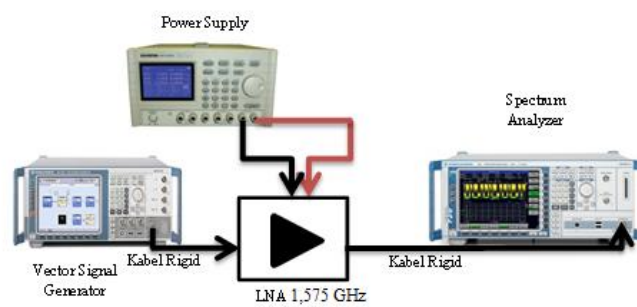
Setelah proses fabrikasi dan jalur pcb telah benar, langkah selanjutnya adalah melakukan penyolderan komponen aktif dan pasif LNA. Komponen LNA yang digunakan adalah komponen SMD (*Surface Mount Device*) yang secara karakteristik berukuran kecil (mm) dan rentan terhadap kejutan-kejutan listrik terutama untuk komponen aktifnya. Sehingga ada beberapa peralatan penunjang yang digunakan untuk proses menyolder komponen LNA, diantaranya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3.3 Peralatan Penunjang Untuk Menyolder Komponen LNA

No.	Nama Peralatan	Bentuk Fisik
1	Solder dc anti septik	
2	Timah 0.6 mm	

3	Loop	
4	Pinset	
5	Gelang anti septik	

d.3. Pengukuran LNA Dengan *Signal Generator* dan *Spectrum Analyzer*

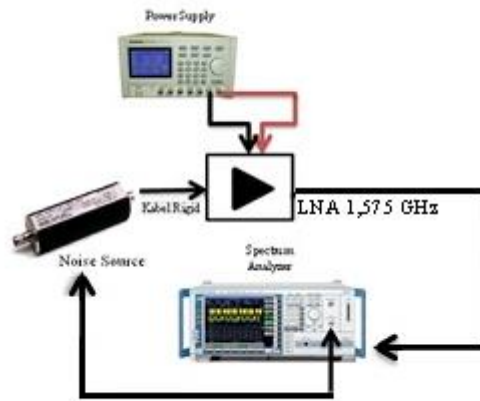


Gambar 3.11 *Set-up Pengukuran Gain*

Pada penelitian LNA ini parameter yang akan diukur menggunakan *Signal Generator* dan *Spectrum Analyzer* adalah S_{21} (*gain*). Adapun prosedur pengukuran LNA dengan *Signal Generator* dan *Spectrum Analyzer* sebagai berikut:

1. Hubungkan kabel rigid pada *input* LNA 1,575 GHz ke *Signal Generator*.
2. Hubungkan kabel rigid pada *output* LNA 1,575 GHz ke *Spectrum Analyzer*.
3. Hubungkan *power supply* dengan *input* DC LNA 1,575 GHz.
4. Nyalakan *Spectrum Analyzer* dan *Signal Generator*.
5. *Setting* frekuensi dan level *input* yang diinginkan pada *Signal Generator*, dengan cara tekan tombol “level” kemudian *set level input*, kemudian tekan “Enter”. Begitu juga dengan frekuensi, tekan tombol “Freq”, kemudian *set* frekuensi yang diinginkan, lalu tekan “Enter”.
6. Nyalakan *power supply*, *set-up* tegangan yang diinginkan dan *set-up* batas maksimal arus yang diperlukan.
7. *Setting* frekuensi yang diukur pada *Spectrum Analyzer* sesuai dengan *input*. Untuk dapat mengetahui daya *output* pada frekuensi yang diinginkan, caranya dengan menekan tombol “Mrk→” lalu pilih tombol “Peak”. Dengan cara tersebut, hasil dapat dilihat yaitu daya *output* dan *gain*.

d.4. Pengukuran LNA Dengan *Signal Generator*, *Spectrum Analyzer* dan *Noise Source*



Gambar 3.12 *Set-up* Pengukuran *Noise Figure*

Pada penelitian LNA ini parameter yang akan diukur menggunakan *Signal Generator*, *Spectrum Analyzer* dan *Noise Source* yaitu *Noise Figure*. Adapun prosedur pengukuran LNA dengan *Signal Generator*, *Spectrum Analyzer* dan *Noise Source* sebagai berikut:

1. Hubungkan *power supply* dengan *input* DC dari LNA menggunakan kabel *jumper*.
2. Hubungkan *Spectrum Analyzer* dengan *input* *Noise Source* kemudian sambungkan *input* LNA 1,575 GHz dengan *output* dari *Noise Source*.
3. Hubungkan kabel rigid pada *output* LNA 1,575 GHz ke *Spectrum Analyzer*.
4. Nyalakan *Spectrum Analyzer* dan *Signal Generator*.

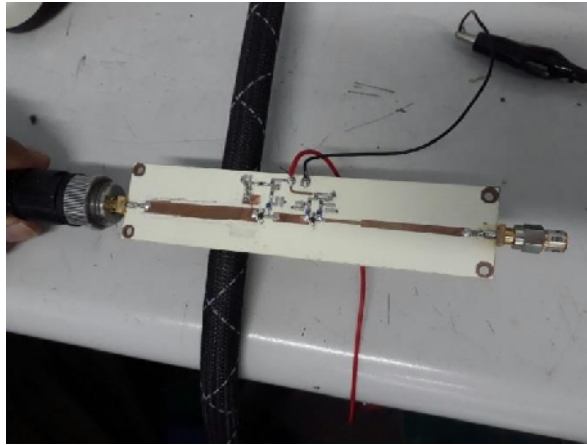
5. Nyalakan *power supply*, *set-up* tegangan yang diinginkan dan *set-up* batas maksimal arus yang diperlukan.
6. Tekan tombol “Noise” pada *Spectrum Analyzer*, kemudian *setting* frekuensi yang diinginkan.
7. Selanjutnya catat nilai yang tertera pada *Spectrum Analyzer* yang berbentuk tabel.

d.5. Pengukuran LNA Dengan *Vector Network Analyzer*

Vector Network Analyzer (VNA) merupakan alat ukur yang memiliki 2 *port* untuk mengukur S-Parameter dari kinerja aplikasi RF. Pada penelitian LNA ini parameter yang akan diukur menggunakan VNA antara lain: S_{11} (*input return loss*), S_{22} (*output return loss*), serta *VSWR input dan output*.

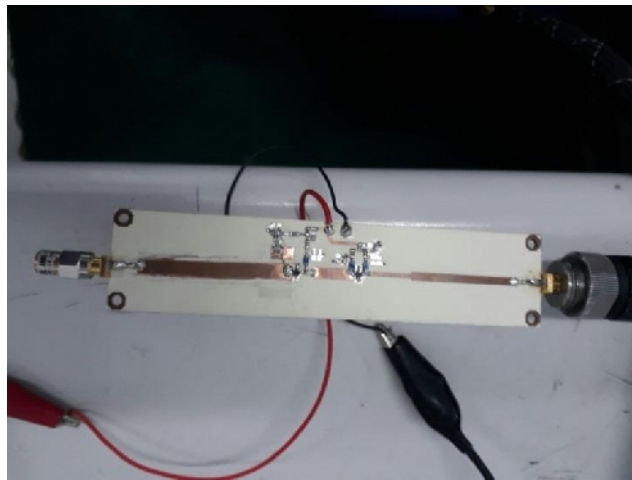
Adapun prosedur pengukuran LNA dengan *Vector Network Analyzer* sebagai berikut:

1. Terlebih dahulu mengkalibrasi *Vector Network Analyzer* dengan OSL (*Open Short Load*) *calibration*. Langkah kalibrasi ini sangat penting untuk mendapatkan nilai validitas pengukuran sebaik mungkin.
2. Tekan tombol *measurements* untuk melihat parameter yang akan diukur.
3. *Untuk mengukur S_{11} (*input return loss*) dan *VSWR input*, maka di bagian *port output* LNA dipasangkan terminasi 50Ω . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.13 Terminasi 50 Ω *Output* Untuk Pengukuran S_{11} dan VSWR *Input*

*Untuk mengukur S_{22} (*output return loss*) dan VSWR *output*, maka di bagian *port input* LNA dipasangkan terminasi 50 Ω . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Terminasi 50 Ω *Input* Untuk Pengukuran S_{22} dan VSWR *Output*

4. Tekan tombol *marker* untuk melihat titik frekuensi yang diinginkan.
5. Catat serta simpan nilai yang tertera pada masing-masing *marker* pada hasil grafik pengukuran.

3.4. Teknik Pengumpulan Data

Untuk pengumpulan data, penelitian menggunakan metode observasi, meliputi pencarian sumber literatur, perancangan, dan mensimulasikan LNA. Setelah melakukan pengumpulan data dan mengolah data dari hasil yang diperoleh, maka data-data tersebut digunakan dalam menyusun skripsi, yaitu berupa data primer dan sekunder.

1. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh dan dikumpulkan secara langsung. Data primer yang dimaksudkan ialah data hasil simulasi dengan perangkat lunak ADS 2011 di Laboratorium Telekomunikasi Universitas Negeri Jakarta dan pengukuran LNA dilakukan di P2ET (Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi) LIPI Bandung. Data yang diambil meliputi nilai faktor kestabilan, *Gain*, *Noise Figure*, *Input dan Output Return Loss*, dan VSWR.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dan dikumpulkan tidak secara langsung. Peneliti menggunakan berbagai sumber literature yang sudah ada seperti buku, jurnal, dan sebagainya. Data tersebut meliputi teknik perancangan LNA, parameter-parameter LNA beserta data pendukung dalam penelitian.

3.5. Teknik Analisis Data

Analisis data adalah kegiatan mengubah hasil penelitian menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengambil sebuah kesimpulan dalam suatu penelitian. Langkah pertama dari data yang diperoleh pada data primer adalah

membandingkan nilai S-Parameter dari simulasi ADS 2011 dengan *datasheet* transistor BFP-420.

Adapun tabel perbandingan nilai resistor untuk rangkaian bias transistor yang merupakan selisih hasil perhitungan resistor dengan *realisasi* adalah sebagai berikut:

Tabel 3.4 Perbandingan Nilai Resistor Yang Digunakan

Resistor	Perhitungan (Ω)	Sebenarnya (Ω)	Selisih (Ω)
R_B			
R_C			

Setelah menghitung nilai resistor untuk rangkaian bias transistor, selanjutnya adalah membuat impedansi *input & output matching* serta *matching interstage*. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan konsep transformator $\lambda/4$. Berikut adalah tabel perbandingan nilai panjang dan lebar *stripline* penyesuai impedansi *input & output* antara perhitungan dengan *realisasi*.

Tabel 3.5 Perbandingan Nilai *Stripline* Penyesuai Impedansi *Input*

	Impedansi <i>Input</i>			
	<i>Stripline</i>	Perhitungan	<i>Realisasi</i>	Selisih
$\lambda/4$	W			
	L			
D	W			
	L			

Tabel 3.6 Perbandingan Nilai *Stripline* Penyesuai Impedansi *Output*

		Impedansi <i>Output</i>			
		<i>Stripline</i>	Perhitungan	<i>Realisasi</i>	Selisih
$\lambda/4$	W				
	L				
D	W				
	L				

Tabel 3.7 Perbandingan Nilai *Stripline* Penyesuai Impedansi *Interstage*

		Impedansi <i>Interstage</i>			
		<i>Stripline</i>	Perhitungan	<i>Realisasi</i>	Selisih
C	-				
$\lambda/4$	W				
	L				

Setelah semua nilai komponen didapat dan melakukan observasi pasar, langkah selanjutnya adalah men-*list* nilai komponen yang akan dibeli. Berikut ini adalah tabel daftar komponen untuk rangkaian LNA.

Tabel 3.8 Daftar Nilai Komponen Untuk Rangkaian LNA

Komponen	Nilai (Spesifikasi)	Jumlah
..... dst		

Setelah mengetahui jarak antar kaki komponen untuk rangkaian LNA, langkah selanjutnya adalah mendesain *layout* LNA dengan menggunakan bantuan *software* Altium 2009, kemudian barulah direalisasikan. Hasil pengukuran dimensi LNA diperlihatkan pada tabel berikut ini.

Tabel 3.9 Perbandingan Dimensi LNA Setelah Fabrikasi

Parameter	Hasil Ukuran Desain		
	Simulasi	Fabrikasi	Selisih
Panjang PCB			
Lebar PCB			

Setelah hasil fabrikasi LNA selesai langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan penyolderan dengan menggunakan solder dc. Kemudian dilakukan proses pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* dan untuk mengaktifkan transistor (dc biasing) dibutuhkan sumber dc dari *Power Supply*. Setelah pengukuran, data yang didapat kemudian diolah dan menjadi acuan dasar untuk pengujian hasil S-Parameter yang meliputi frekuensi tengah, kestabilan, S_{11}

(*input return loss*), S_{22} (*output return loss*), S_{21} (*gain*), *VSWR input*, *VSWR output*, *Noise Figure* dari desain dan pengujian *Low Noise Amplifier*. Selanjutnya membandingkan antara hasil pengukuran LNA dengan hasil simulasi dengan menggunakan ADS 2011. Berikut tabel perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran sebagai berikut.

Tabel 3.10 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran LNA

Parameter Frekuensi	Kestabilan	S_{21} (<i>gain</i>)	<i>Noise Figure</i>	S_{11} (<i>input return loss</i>)	S_{22} (<i>output return loss</i>)	<i>VSWR input</i>	<i>VSWR output</i>
Simulasi							
1,500 GHz							
1,575 GHz							
1,650 GHz							
Pengukuran							
1,500 GHz							
1,575 GHz							
1,650 GHz							
Keterangan :							

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengembangan Produk

4.1.1. Hasil Perancangan

Pada tahap ini peneliti merancang baik dari perhitungan manual dan mendapatkan hasil berupa nilai komponen yang nanti akan digunakan dalam simulasi menggunakan software *Advanced Design System* 2011. Ada beberapa tahapan yang telah dilakukan dalam merancang rangkaian LNA.

4.1.1.a. Hasil Perancangan DC Bias

Setelah merancang parameter untuk *biasing* berdasarkan *datasheet*, maka didapat hasil sebagai berikut:

- $I_C = 10 \text{ mA}$
- $V_{CE} = 2 \text{ V}$
- $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$
- $h_{FE} = 100$
- $R_1 = 100 \Omega$

Dengan memberi sumber pada V_{CC} sebesar 5 V, maka dapat dihitung nilai R_B dan R_C (menggunakan persamaan 2.1 – 2.6).

$$\diamond h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_B = \frac{10 \text{ mA}}{100}$$

$$= 0,1 \text{ mA}$$

$$\diamond I_1 = I_C + I_B$$

$$= 10 \text{ mA} + 0,1 \text{ mA}$$

$$= 10,1 \text{ mA}$$

$$\diamond V_{CC} - I_B R_B - I_1 R_1 - V_{BE} = 0$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - I_1 R_1 - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{5 \text{ V} - (10,1 \text{ mA} \times 100) - 0,7}{0,1 \text{ mA}}$$

$$= 32,9 \text{ K}\Omega$$

$$\diamond V_{CC} - I_C R_C - I_1 R_1 - V_{CE} = 0$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - I_1 R_1 - V_{CE}}{I_C}$$

$$R_C = \frac{5 \text{ V} - (10,1 \text{ mA} \times 100) - 2}{10 \text{ mA}}$$

$$= 199 \Omega$$

Berikut ini adalah tabel perbandingan nilai resistor perhitungan dengan yang ada di pasaran.

Tabel 4.1 Hasil Penyesuaian Nilai Resistor Yang Ada Di Pasaran

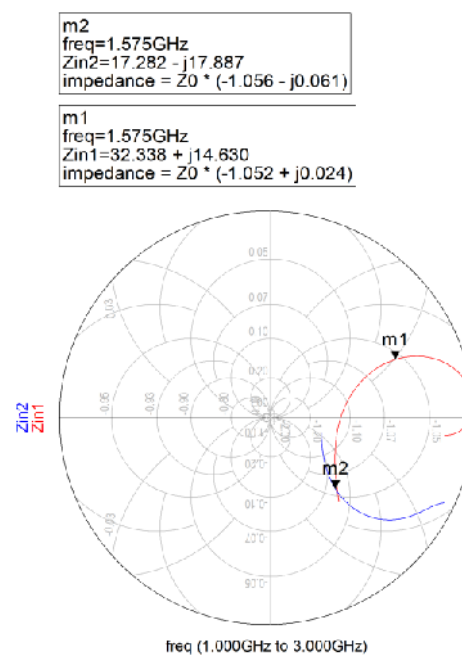
Resistor	Perhitungan (Ω)	Sebenarnya (Ω)	Selisih (Ω)
R_B	32,9 K	30,1 K	2,8 K
R_C	199	182	17

Pada tabel 4.1 didapatkan dari hasil perhitungan nilai R_B sebesar 32,9 K Ω akan tetapi yang dijual di pasaran tidak ada, maka peneliti memilih nilai resistor yang ada di pasaran dengan nilai yang hampir mendekati dengan hasil

perhitungan yaitu sebesar $30,1 \text{ K}\Omega$. Sedangkan untuk nilai R_C sebesar 199Ω dan yang ada dipasaran yaitu 182Ω .

4.1.1.b. Hasil Perancangan Rangkaian Penyesuai Impedansi

Teknik yang dipakai adalah teknik *quarter-wave transformator*. Dari hasil simulasi yang didapat berupa nilai Z_S (impedansi sumber) dan Z_L (impedansi beban) sebagai berikut:



Gambar 4.1 Hasil Simulasi Untuk Pengukuran Z_S dan Z_L

Dari hasil simulasi didapat nilai $Z_S = Z_{in1} = 32,338 + j14,630$, sedangkan untuk nilai $Z_L = Z_{in2} = 17,282 - j17,887$. Nilai Z_S digunakan untuk menghitung penyesuai impedansi *input* dan nilai Z_L digunakan untuk menghitung penyesuai impedansi *output*.

b.1 Penyesuaian Impedansi Input Dengan Transformator $\lambda/4$

Untuk membuat penyesuai impedansi input, maka tahapannya adalah:

1. Nilai Z_S dibagi dengan 50 terlebih dahulu, maka didapat $Z_{SN} = 0,647 + j0,293$,
2. Plot titik Z_{SN} pada smith chart,
3. Kemudian membuat lingkaran dengan titik pusat smith chart sebagai titik pusatnya dan titik Z_{SN} sebagai jari-jarinya,
4. Buat lingkaran kearah sumber, sampai memotong garis pusat. Titik potong itu merupakan nilai impedansi d_1 . Didapatkan titik potong pada titik 0,56 kemudian normalisasi terhadap 50Ω sehingga didapat nilai impedansinya sebesar 28Ω ,
5. Tarik garis lurus dari titik pusat melewati titik Z_{SN} menuju nilai sudut Z_{SN} yaitu 0,066,
6. Lalu hitung panjang d_1 dengan menarik garis lurus tadi kearah beban sampai garis lurus titik pusat, sehingga didapatkan panjang d_1 sebesar $0,184 \lambda$.
7. Kemudian hitung panjang (L) dan lebar (W) dari stub $\lambda/4$ dengan menggunakan persamaan. Pertama, menghitung nilai impedansinya dengan persamaan (2.13),

$$Z_o = \sqrt{28 \times 50} = 37,417 \Omega$$

Kemudian hitung lebarnya dengan persamaan (2.19),

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{1,078}}{e^{2 \times 1,078} - 2} = 3,543$$

$$w = 3,543 \times 1,524 = 5,399 \text{ mm}$$

Dimana,

$$A = \frac{37,417}{60} \sqrt{\frac{3,48+1}{2}} + \frac{3,48-1}{3,48+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{3,48}\right) = 1,078$$

Karena $\frac{w}{d} > 1$ maka ε_{eff} dapat dihitung,

$$\varepsilon_{eff} = \frac{3,48+1}{2} + \frac{3,48-1}{2} \left[1 + \frac{12 \times 1,524}{1,078}\right]^{-0,5}$$

$$\varepsilon_{eff} = 2,24 + 0,592 = 2,832$$

Kemudian hitung panjang gelombangnya,

$$\lambda = \frac{\frac{3 \times 10^8}{1,575 \times 10^9}}{\sqrt{2,832}} = 113,186 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda}{4} = 28,297 \text{ mm}$$

8. Kemudian menghitung panjang (L) dan lebar (W) dari stub d_1 dengan menggunakan persamaan (2.13)

$$Z_o = 28 \Omega$$

Kemudian menghitung lebarnya dengan persamaan (2.19),

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{0,843}}{e^{2 \times 0,843} - 2} = 5,470$$

$$w = 5,470 \times 1,524 = 8,336 \text{ mm}$$

Dimana,

$$A = \frac{28}{60} \sqrt{\frac{3,48+1}{2}} + \frac{3,48-1}{3,48+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{3,48}\right) = 0,843$$

Kemudian menghitung panjangnya dengan cara

$$L = 0,184 \times \lambda = 0,184 \times 113,186 = 20,826 \text{ mm}$$

Berikut ini adalah tabel perbandingan antara nilai *stripline* penyesuai impedansi *input* perhitungan manual dengan realisasi.

Tabel 4.2 Hasil Nilai *Stripline* Penyesuai Impedansi *Input*

	Impedansi <i>Input</i>			
	<i>Stripline</i>	Perhitungan (mm)	<i>Realisasi</i> (cm)	Selisih (cm)
$\lambda/4$	W	5,399	0,5	0,0399
	L	28,297	2,6	0,2297
D	W	8,363	0,5	0,3363
	L	20,826	2	0,0826

Pada tabel 4.2 didapatkan dari hasil perhitungan nilai *sripline* penyesuai impedansi *input* untuk bagian $\lambda/4$ lebarnya sebesar 5,399 mm dan panjangnya 28,297 mm, namun pada *realisasinya* didapatkan lebarnya 0,5 cm dan panjangnya 2,6 cm. Sedangkan untuk bagian D lebarnya sebesar 8,363 mm dan panjangnya 20,826 mm, namun pada *realisasinya* didapatkan lebarnya 0,5 cm dan panjangnya 2 cm. Terdapat perbedaan antara nilai *realisasi* dengan perhitungan disebabkan oleh pengikisan saluran *microstrip* ketika proses fabrikasi.

b.2 Penyesuaian Impedansi Output Dengan Transformator $\lambda/4$

Untuk membuat penyesuai impedansi output, maka tahapannya adalah:

1. Nilai Z_L dibagi dengan 50 terlebih dahulu, maka didapat $Z_{LN} = 0,346 - j0,358$,
2. Plot titik Z_{LN} pada smith chart,

3. Kemudian membuat lingkaran dengan titik pusat smith chart sebagai titik pusatnya dan titik Z_{LN} sebagai jari-jarinya,
4. Buat lingkaran kearah beban, sampai memotong garis pusat. Titik potong itu merupakan nilai impedansi d_1 . Didapatkan titik potong pada titik 3,3 kemudian normalisasi terhadap 50Ω sehingga didapat nilai impedansinya sebesar 165Ω .
5. Tarik garis lurus dari titik pusat melewati titik Z_{LN} menuju nilai sudut Z_{LN} yaitu 0,059,
6. Lalu hitung panjang d_1 dengan menarik garis lurus tadi kearah beban sampai garis lurus titik pusat, sehingga didapatkan panjang d_1 sebesar 0,191 λ .
7. Kemudian hitung panjang (L) dan lebar (W) dari stub $\lambda/4$ dengan menggunakan persamaan. Pertama, menghitung nilai impedansinya dengan persamaan (2.13)

$$Z_o = \sqrt{165 \times 50} = 90,830 \Omega$$

Kemudian hitung lebarnya dengan persamaan (2.19)

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{2,411}}{e^{2 \times 2,411} - 2} = 0,730$$

$$w = 0,730 \times 1,524 = 1,113 \text{ mm}$$

Dimana,

$$A = \frac{90,830}{60} \sqrt{\frac{3,48+1}{2}} + \frac{3,48-1}{3,48+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{3,48} \right) = 2,411$$

Karena $\frac{w}{d} > 1$ maka ϵ_{eff} dapat dihitung,

$$\epsilon_{eff} = \frac{3,48+1}{2} + \frac{3,48-1}{2} \left[1 + \frac{12 \times 1,524}{0,730} \right]^{-0,5}$$

$$\epsilon_{eff} = 2,24 + 0,243 = 2,483$$

Kemudian hitung panjang gelombangnya,

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{\frac{1,575 \times 10^9}{\sqrt{2,483}}} = 120,879 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda}{4} = 30,220 \text{ mm}$$

8. Kemudian menghitung panjang (L) dan lebar (W) dari stub d_1 dengan menggunakan persamaan (2.13),

$$Z_o = 165 \Omega$$

Kemudian menghitung lebarnya dengan persamaan (2.19),

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{4,26}}{e^{2 \times 4,26} - 2} = 0,113$$

$$w = 0,113 \times 1,524 = 0,172 \text{ mm}$$

Dimana,

$$A = \frac{165}{60} \sqrt{\frac{3,48+1}{2}} + \frac{3,48-1}{3,48+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{3,48} \right) = 4,26$$

Kemudian menghitung panjangnya dengan cara

$$L = 0,191 \times \lambda = 0,191 \times 120,879 = 23,088 \text{ mm}$$

Berikut ini adalah tabel perbandingan antara nilai *stripline* penyesuai impedansi *output* perhitungan manual dengan realisasi.

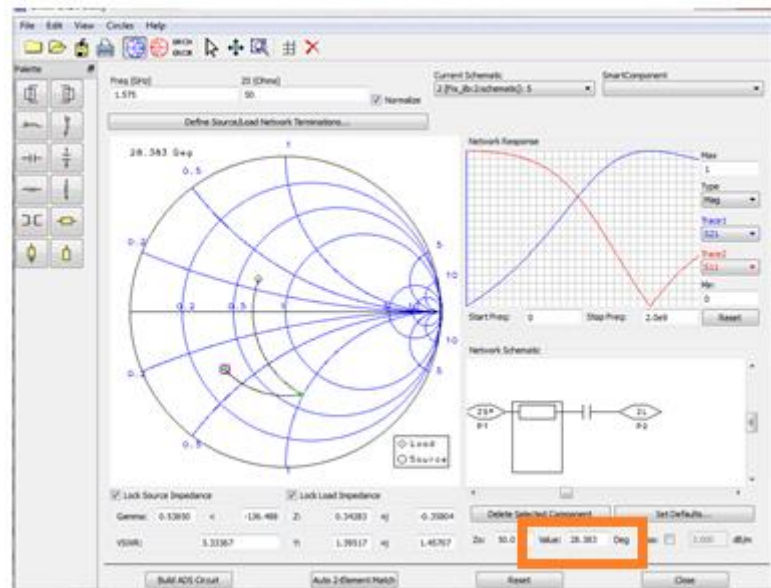
Tabel 4.3 Hasil Nilai *Stripline* Penyesuai Impedansi *Output*

		Impedansi <i>Output</i>			
		<i>Stripline</i>	Perhitungan (mm)	<i>Realisasi</i> (cm)	Selisih (cm)
$\lambda/4$	W		1,113	0,15	0,0387
	L		30,220	3,5	0,478
D	W		0,172	0,15	0,1328
	L		23,088	1,45	0,8588

Pada tabel 4.3 didapatkan dari hasil perhitungan nilai *sripline* penyesuai impedansi *output* untuk bagian $\lambda/4$ lebarnya sebesar 1,113 mm dan panjangnya 30,220 mm, namun pada *realisasinya* didapatkan lebarnya 0,15 cm dan panjangnya 3,5 cm. Sedangkan untuk bagian D lebarnya sebesar 0,172 mm dan panjangnya 23,088 mm, namun pada *realisasinya* didapatkan lebarnya 0,15 cm dan panjangnya 1,45 cm. Terdapat perbedaan antara nilai *realisasi* dengan perhitungan disebabkan oleh pengikisan saluran *microstrip* ketika proses fabrikasi.

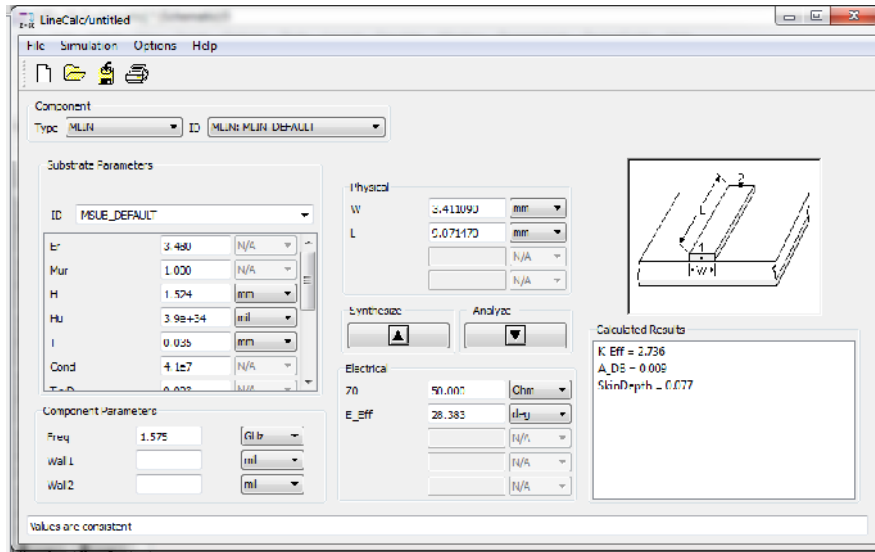
b.3. Penyesuaian *Interstage*

Impedansi *Output* penguat tingkat pertama harus disesuaikan dengan impedansi *input* dari tingkat kedua. Agar mempermudah penyelesaian, maka digunakan teknik transformator $\lambda/4$. Untuk mempermudah perhitungan ini, maka digunakanlah *tools Smith Chart Utility* dan *Line Calculator* pada *software ADS 2011*.



Gambar 4.2 *Tools Smith Chart Utility* Pada ADS 2011

Masukkan nilai $Z_{LN} = 17,282 - j17,887$ dan $Z_{SN} = 32,338 + j14,630$ pada *Smith Chart Utility*, sehingga kedua titik tersebut akan secara otomatis terpasang didalamnya. Lalu tambahkan sebuah saluran dan kapasitor yang dapat menyesuaikan kedua impedansi tersebut seperti pada gambar 4.2. Perhatikan juga nilai yang berada didalam kotak *orange*, masukkan nilai tersebut ke dalam kotak dialog *Line Calculator*, setelah itu sesuaikan parameternya dengan parameter PCB yang akan digunakan.



Gambar 4.3 Tools Line Calculator Pada ADS 2011

Dengan bantuan ADS 2011, didapat penyesuai *interstage* ($f = 1,575$ GHz)

$$W = 3,411 \text{ mm}$$

$$L = 9,071 \text{ mm}$$

$$C = 1,6 \text{ pF}$$

Berikut ini adalah tabel perbandingan antara nilai *stripline* penyesuai impedansi *interstage* melalui simulasi dengan realisasi.

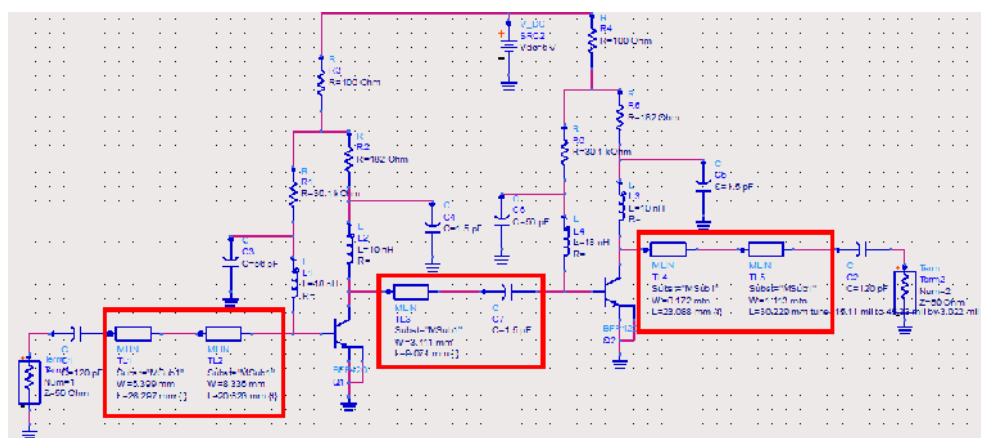
Tabel 4.4 Hasil Nilai *Stripline* Penyesuai Impedansi *Interstage*

	Impedansi <i>Interstage</i>			
	<i>Stripline</i>	Simulasi (mm)	<i>Realisasi</i> (cm)	Selisih (cm)
C	-	1,6 pF	1,5 pF	0,1
$\lambda/4$	W	3,411	0,35	0,0089
	L	9,071	1,35	0,4429

Pada tabel 4.4 didapatkan dari hasil simulasi nilai C sebesar 1,6 pF akan tetapi yang dijual di pasaran tidak ada, maka peneliti memilih nilai kapasitor yang ada di pasaran dengan nilai yang hampir mendekati dengan hasil perhitungan yaitu sebesar 1,5 pF. Kemudian nilai *sripline* penyesuai impedansi *interstage* untuk bagian $\lambda/4$ lebarnya sebesar 3,411 mm dan panjangnya 9,071 mm, namun pada *realisasinya* didapatkan lebarnya 0,35 cm dan panjangnya 1,35 cm. Terdapat perbedaan antara nilai *realisasi* dengan perhitungan disebabkan oleh pengikisan saluran *microstrip* ketika proses fabrikasi.

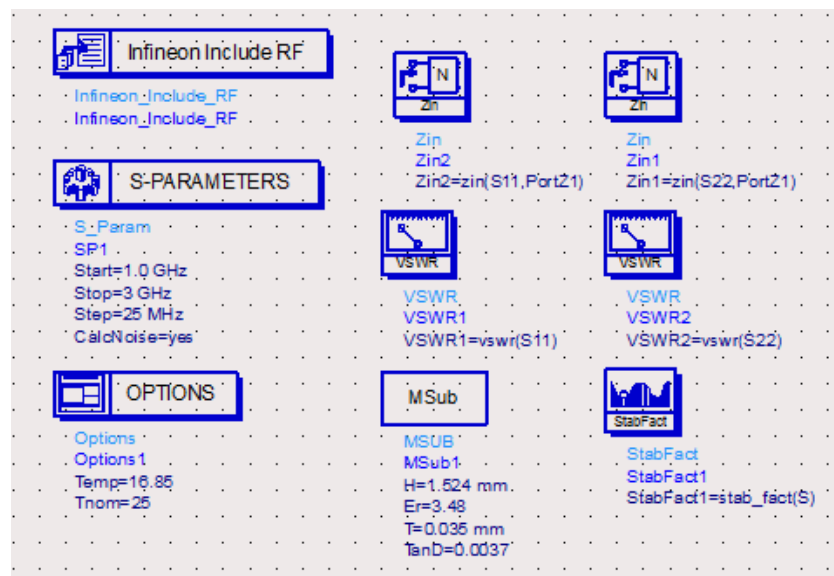
4.1.1.c. Hasil Akhir Rangkaian LNA

Setelah mendapatkan nilai *stripline* untuk penyesuai impedansi *input* dan *output* serta penyesuai impedansi *interstage* secara perhitungan manual maupun menggunakan *tools Smith Chart Utility* dan *Line Calculator* pada *software ADS* 2011, langkah selanjutnya adalah menambahkan rangkaian tersebut ke dalam rangkaian LNA. Pada penambahan rangkaian penyesuai impedansi ini peneliti menggunakan nilai perhitungan berdasarkan hasil simulasi otomatis yang sudah di *tunning*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



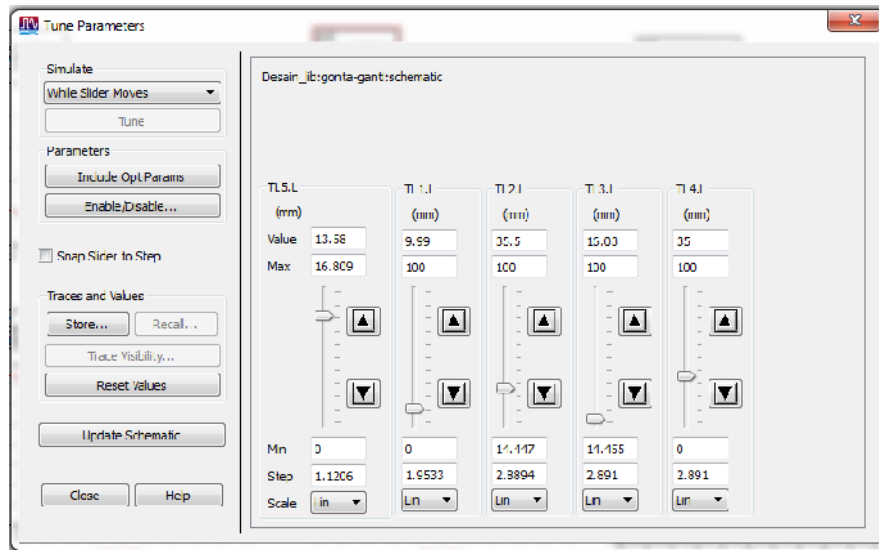
Gambar 4.4 Penambahan Rangkaian Penyesuai Impedansi Berupa *Stripline*

Setelah penambahan rangkaian penyesuai impedansi ditambahkan, langkah selanjutnya adalah melihat semua parameter pada hasil simulasi ADS diantaranya faktor kestabilan, *Gain*, *Noise Figure*, *Input dan Output Return Loss* < -10 dB, serta VSWR. Berikut parameter yang digunakan pada *software* ADS 2011.



Gambar 4.5 *Tools Simulator* Untuk Simulasi

Setelah dilihat pada hasil simulasi tersebut ketika ada parameter yang belum memenuhi spesifikasi LNA yang diharapkan, maka perlu dilakukan proses *tunning* pada *stripline* karena dikhawatirkan ada pergeseran pada saat pengukuran setelah fabrikasi. Berikut ini adalah tampilan proses *tunning* pada rangkaian penyesuai iimpedansi.



Gambar 4.6 Tampilan Proses *Tuning* Komponen Penyesuai Impedansi

Adapun daftar nilai komponen dan *stripline* pada rangkaian LNA yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

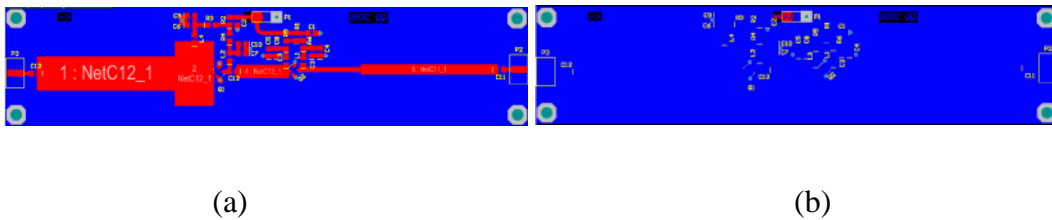
Tabel 4.5 Daftar Nilai Komponen Rangkaian Akhir LNA

Komponen	Nilai (Spesifikasi)	Jumlah
Transistor	BFP420 (SMD)	2
Resistor	30,1 K Ω (SMD 0805)	2
	182 Ω (SMD 0805)	2
	100 Ω (SMD 0805)	2
Induktor	18 nH (SMD 0805)	2
	10 nH (SMD 0805)	2
Kapasitor	120 pF (SMD 0805)	2
	56 pF (SMD 0805)	2
	1,5 pF (SMD 0805)	3

4.2. Kelayakan Produk (Teoritik dan Empiris)

4.2.1. Hasil Desain *Layout* LNA Pada Altium 2013

Setelah semua rangkaian LNA dirancang pada *software* ADS dan semua nilai komponen telah disesuaikan dengan yang terdapat di pasaran, langkah selanjutnya adalah membuat *layout* LNA menggunakan *software* Altium yang nantinya akan dilanjut dengan proses fabrikasi. Berikut ini adalah gambar hasil desain *layout* LNA pada Altium 2013.

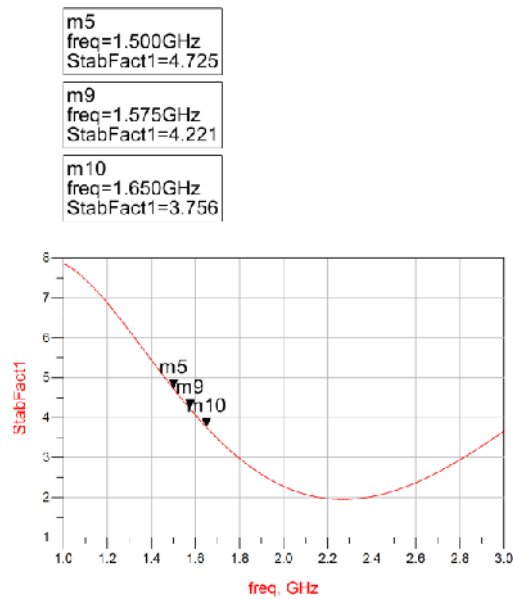


Gambar 4.7 Hasil *Desain Layout* LNA (a) *Top Layer* (b) *Bottom Layer*

4.2.2. Hasil Simulasi LNA Pada ADS 2011

Berikut adalah hasil simulasi nilai faktor kestabilan, *Gain*, *Noise Figure*, *Input dan Output Return Loss*, serta VSWR pada LNA 2 tingkat yang bekerja pada frekuensi 1,500 – 1,650 GHz menggunakan perangkat lunak *Advanced Design System* 2011:

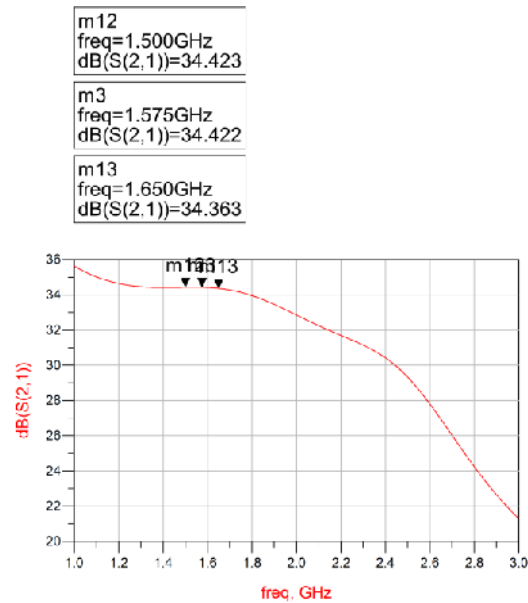
4.2.2.a. Kestabilan



Gambar 4.8 Garfik Hasil Simulasi Kestabilan Transistor

Grafik hasil simulasi pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa rancangan LNA 2 tingkat telah memenuhi spesifikasi nilai kestabilan yang diharapkan yaitu > 1 yang bekerja pada frekuensi 1,500 GHz sebesar 4,725 sedangkan pada frekuensi 1,575 GHz didapat 4,221 dan pada frekuensi 1,650 GHz yang dihasilkan sebesar 3,756.

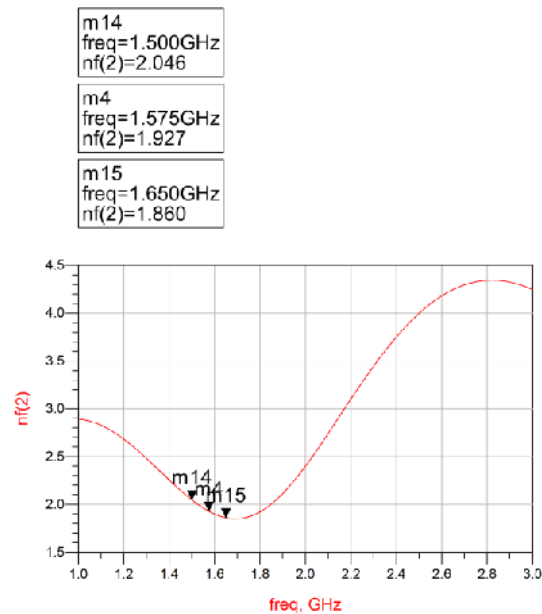
4.2.2.b. Gain (S_{21})



Gambar 4.9 Grafik Hasil Simulasi S_{21} (*Gain*)

Grafik hasil simulasi pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa rancangan LNA 2 tingkat telah memenuhi spesifikasi nilai *gain* yang diharapkan yaitu > 20 dB yang bekerja pada frekuensi 1,500 GHz sebesar 34,423 sedangkan pada frekuensi 1,575 GHz didapat 34,422 dan pada frekuensi 1,650 GHz yang dihasilkan sebesar 34,363.

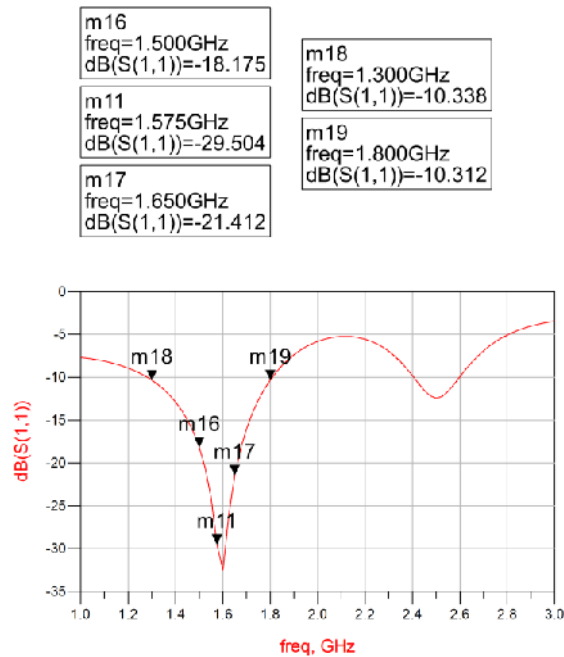
4.2.2.c. Noise Figure



Gambar 4.10 Grafik Hasil Simulasi *NoiseFigure*

Grafik hasil simulasi pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa rancangan LNA 2 tingkat telah memenuhi spesifikasi nilai *Noise Figure* yang diharapkan yaitu < 2 yang bekerja pada frekuensi 1,500 GHz sebesar 2,046 sedangkan pada frekuensi 1,575 GHz didapat 1,927 dan pada frekuensi 1,650 GHz yang dihasilkan sebesar 1,860.

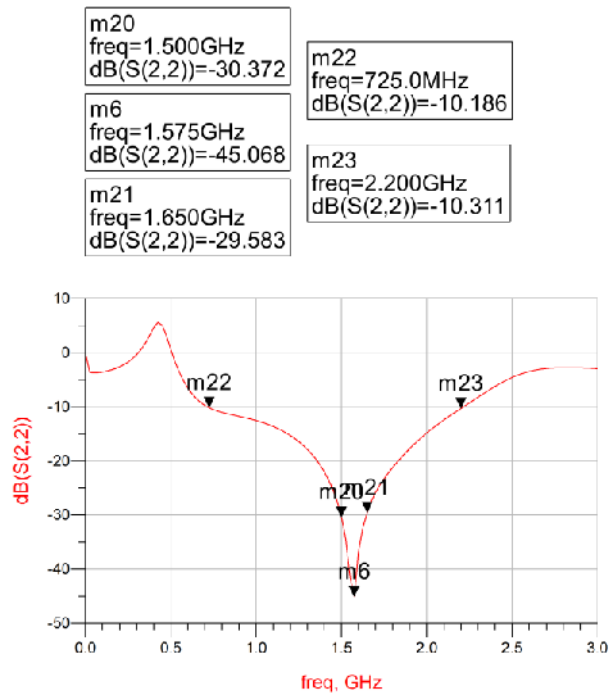
4.2.2.d. Input Return Loss (S_{11})



Gambar 4.11 Grafik Hasil Simulasi S_{11} (*Input Return Loss*)

Grafik hasil simulasi pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa rancangan LNA 2 tingkat telah memenuhi spesifikasi nilai *retun loss input* yang diharapkan yaitu < -10 dB yang bekerja pada frekuensi 1,500 GHz sebesar -18,175 sedangkan pada frekuensi 1,575 GHz didapat -29,504 dan pada frekuensi 1,650 GHz yang dihasilkan sebesar -21,412. Sedangkan untuk nilai -10 terdapat pada frekuensi 1,300 GHz dan 1,8 GHz.

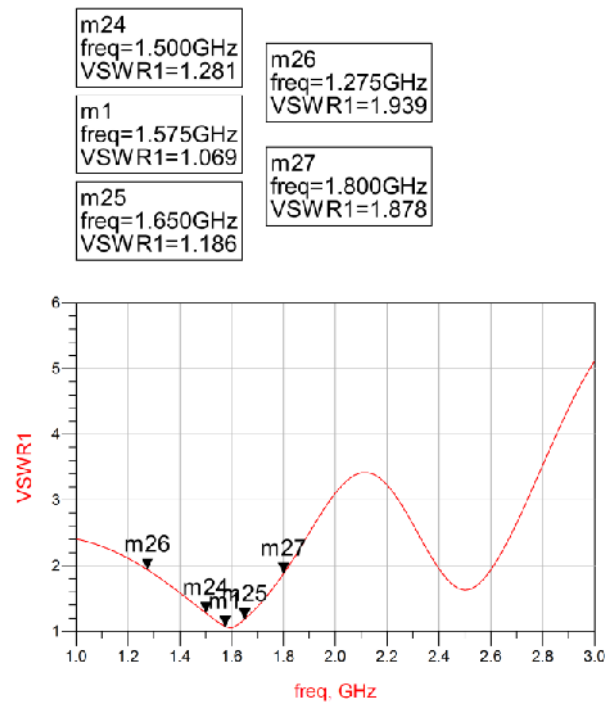
4.2.2.e. Output Return Loss (S_{22})



Gambar 4.12 Grafik Hasil Simulasi S_{22} (*Output Return Loss*)

Grafik hasil simulasi pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa rancangan LNA 2 tingkat telah memenuhi spesifikasi nilai *return loss output* yang diharapkan yaitu < -10 dB yang bekerja pada frekuensi 1,500 GHz sebesar -30,372 sedangkan pada frekuensi 1,575 GHz didapat -45,068 dan pada frekuensi 1,650 GHz yang dihasilkan sebesar -29,583. Sedangkan untuk nilai -10 terdapat pada frekuensi 725 MHz dan 2,2 GHz.

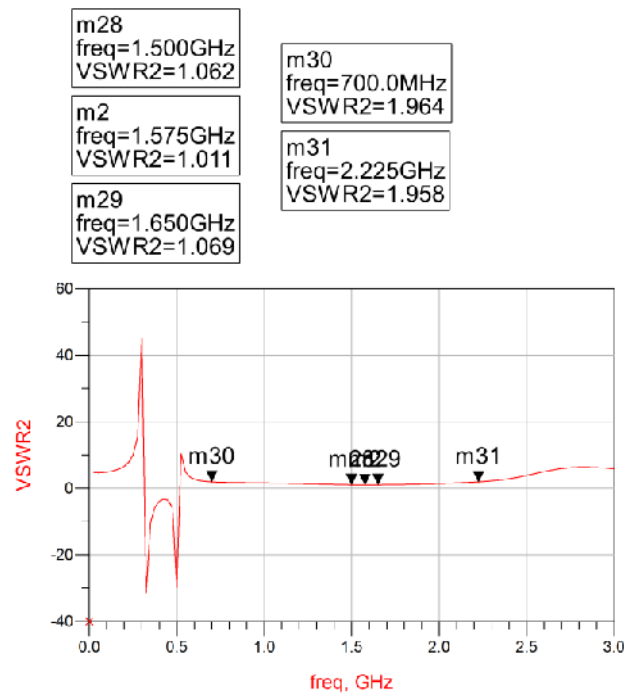
4.2.2.f. VSWR Input



Gambar 4.13 Grafik Hasil Simulasi *VSWR Input*

Grafik hasil simulasi pada gambar 4.13 menunjukkan bahwa rancangan LNA 2 tingkat telah memenuhi spesifikasi nilai *input VSWR* yang diharapkan yaitu $< 1,92$ dB yang bekerja pada frekuensi 1,500 GHz sebesar 1,281 sedangkan pada frekuensi 1,575 GHz didapat 1,069 dan pada frekuensi 1,650 GHz yang dihasilkan sebesar 1,186. Sedangkan untuk nilai 1,92 terdapat pada frekuensi 1,275 GHz dan 1,8 GHz.

4.2.2.g. VSWR Output



Gambar 4.14 Grafik Hasil Simulasi *VSWR Output*

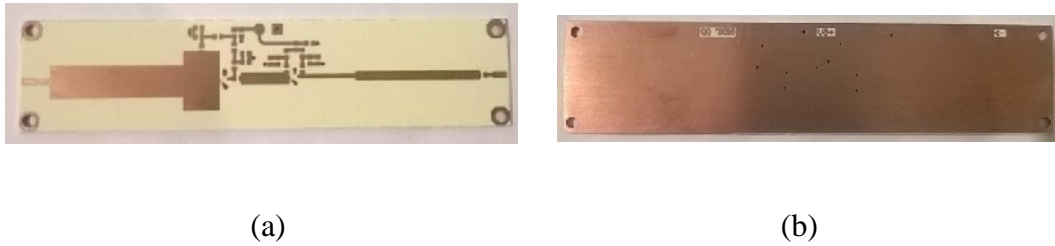
Grafik hasil simulasi pada gambar 4.14 menunjukkan bahwa rancangan LNA 2 tingkat telah memenuhi spesifikasi nilai *output VSWR* yang diharapkan yaitu $< 1,92$ yang bekerja pada frekuensi 1,500 GHz sebesar 1,062 sedangkan pada frekuensi 1,575 GHz didapat 1,011 dan pada frekuensi 1,650 GHz yang dihasilkan sebesar 1,069. Sedangkan untuk nilai 1,92 terdapat pada frekuensi 700 MHz dan 2,225 GHz.

4.3. Efektifitas Produk (Melalui Uji Coba)

4.3.1. Hasil Fabrikasi LNA

Setelah melakukan perancangan dan simulasi pada software ADS didapatkan hasil dari parameter-parameter yang sesuai dengan spesifikasi awal,

maka langkah selanjutnya adalah melakukan fabrikasi terhadap desain yang telah dirancang. Berikut ini adalah hasil fabrikasi LNA yang telah direalisasikan sesuai dengan perancangan dan tabel perbandingan dimensi LNA antara hasil simulasi dengan fabrikasi.



Gambar 4.15 Hasil Fabrikasi LNA (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

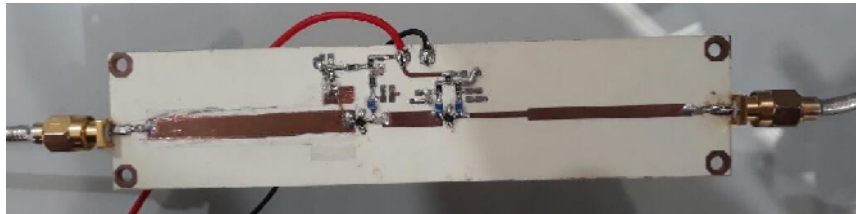
Tabel 4.6 Hasil Perbandingan Dimensi LNA

Parameter	Hasil Ukuran Desain		
	Simulasi (cm)	Fabrikasi (cm)	Selisih (cm)
Panjang PCB	13,474	13,5	0,026
Lebar PCB	3,009	3	0,009

Pada tabel 4.6 didapatkan dari hasil simulasi panjang PCB sebesar 13,474 cm dan lebarnya 3,009 cm, adapun pada hasil fabrikasi didapat panjang PCB sebesar 13,5 cm dan lebarnya 3 cm. Terdapat perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil fabrikasi yang disebabkan oleh pengikisan saluran *microstrip* ketika proses fabrikasi.

Setelah proses fabrikasi, langkah selanjutnya adalah proses penyolderan komponen LNA. Namun sebaiknya dicek terlebih dahulu jalur pcb tersebut

menggunakan *Multimeter*, dikhawatirkan ada jalur yang tidak semestinya *short* atau *open*, terutama cek pada bagian *through hole* pcb. Berikut ini adalah gambar LNA yang telah dipasang komponennya.



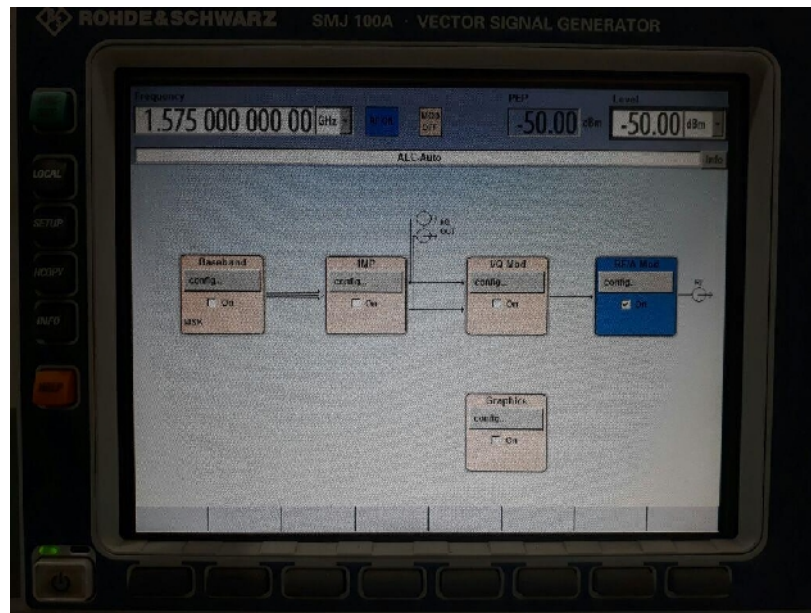
Gambar 4.16 Komponen LNA Yang Telah Disolder

4.3.2. Hasil Pengukuran LNA Dengan *Vector Network Analyzer*, *Signal Generator* dan *Noise Source*

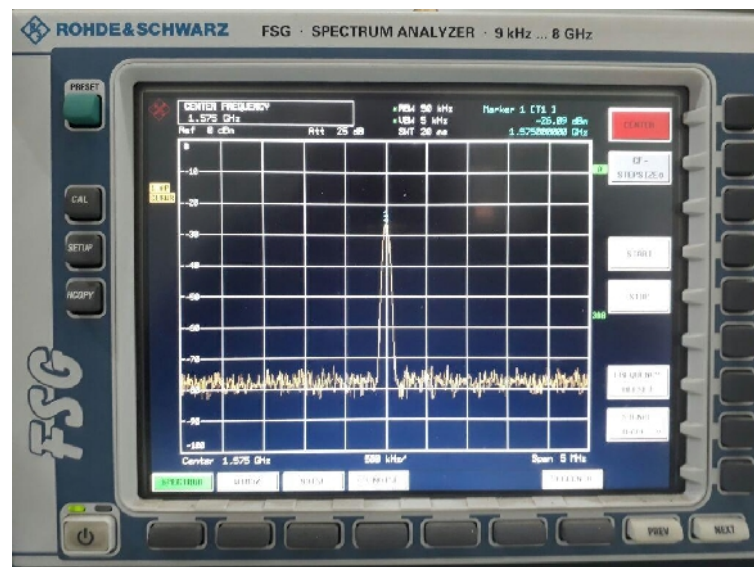
Pengukuran terhadap LNA dilakukan setelah LNA dirancang melalui *software Advanced Design System 2011* dan difabrikasi secara fisik serta sampai pada tahap penyolderan komponen LNA. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui karakteristik LNA yang telah direalisasikan, sehingga dapat diketahui parameter-parameter LNA tersebut untuk kemudian dijadikan tolak ukur kelayakan serta bahan perbandingan dengan hasil perhitungan secara teori dan hasil simulasi *software*. Pengukuran pada *Vector Network Analyzer* dilakukan pada rentang frekuensi 1 GHz sampai 3 GHz. Dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* ini parameter LNA yang diukur diantaranya, *input dan output return loss*, dan *VSWR*. Sedangkan untuk mengukur *gain* dibutuhkan *Signal Generator* dan *Spectrum Analyzer*. Dan untuk mengukur *noise figure* dibutuhkan *Noise Source*, *Signal Generetor*, dan *Spectrum Analyzer*.

4.3.2.a. Pengukuran *Gain* (S_{21})

Sesuai dengan pengukuran menggunakan *Signal Generator* dan *Spectrum Analyzer*, dengan level *input* -50 dBm, daya *output* dan *gain* dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 menunjukkan respon frekuensi pada alat ukur.



Gambar 4.17 Pengukuran level *input* menggunakan *Signal Generator*



Gambar 4.18 Daya *Output* menggunakan *Spectrum Analyzer*

Dari hasil pengukuran, daya *output* yang dihasilkan pada frekuensi 1,575 GHz sebesar -26,09 dBm dengan level *input* yang diberikan sebesar -50 dBm dengan redaman kabel rigid pada *input* dan *output* sebesar 1 dB. *Gain* yang dihasilkan sebesar 24,91 dB.

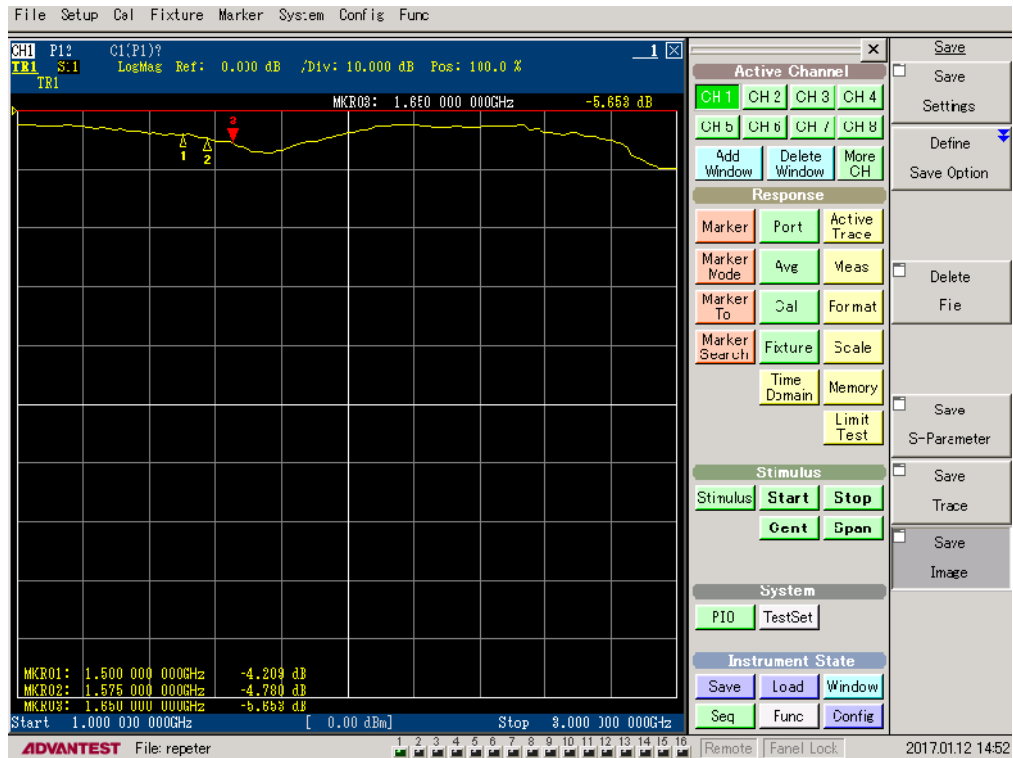
4.3.2.b. Pengukuran *Noise Figure*



Gambar 4.19 Hasil Pengukuran *Noise Figure*

Dari hasil pengukuran, didapatkan data *noise figure* pada frekuensi 1,575 GHz sebesar 2,440 dB dengan *noise temperature* sebesar 218,676 Kelvin. Nilai *Noise Figure* yang didapat belum sesuai dengan parameter LNA yang diharapkan dan berbeda dengan hasil simulasi.

4.3.2.c. Pengukuran *Input Return Loss* (S_{11})



Gambar 4.20 Hasil Pengukuran S_{11} (*Input Return Loss*)

Dari hasil pengukuran, terjadi pergeseran frekuensi yang signifikan. Nilai S_{11} (*Input Return Loss*) yang didapat belum sesuai dengan parameter LNA yang diharapkan dan berbeda dengan hasil simulasi, dimana pada frekuensi 1,575 GHz S_{11} (*Input Return Loss*) bernilai -4,780 dB.

4.3.2.d. Pengukuran Output Return Loss (S_{22})



Gambar 4.21 Hasil Pengukuran S_{22} (*Output Return Loss*)

Dari hasil pengukuran, terjadi pergeseran frekuensi yang signifikan. Nilai S_{22} (*Output Return Loss*) yang didapat belum sesuai dengan parameter LNA yang diharapkan dan berbeda dengan hasil simulasi, dimana pada frekuensi 1,575 GHz S_{22} (*Output Return Loss*) bernilai -7,910 dB.

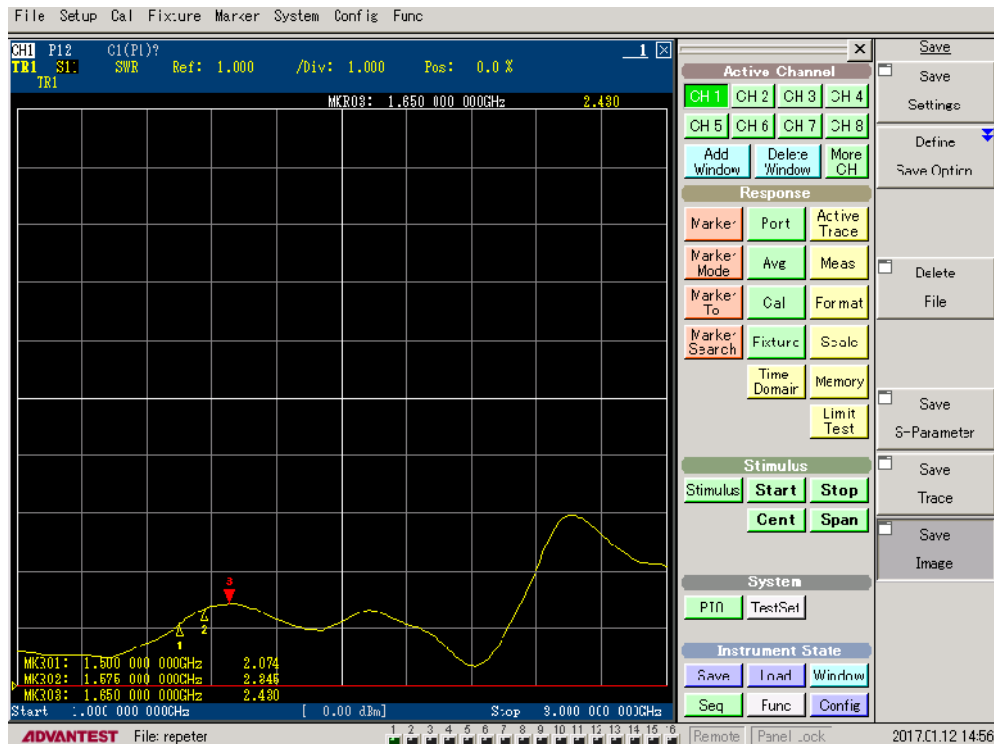
4.3.2.e. Pengukuran VSWR Input



Gambar 4.22 Hasil Pengukuran VSWR *Input*

Dari hasil pengukuran, terjadi pergeseran frekuensi yang signifikan. Nilai VSWR *Input* yang didapat belum sesuai dengan parameter LNA yang diharapkan dan berbeda dengan hasil simulasi, dimana pada frekuensi 1,575 GHz VSWR *Input* bernilai 3,728.

4.3.2.f. Pengukuran VSWR Output



Gambar 4.23 Hasil Pengukuran VSWR Output

Dari hasil pengukuran, terjadi pergeseran frekuensi yang signifikan. Nilai VSWR Output yang didapat belum sesuai dengan parameter LNA yang diharapkan dan berbeda dengan hasil simulasi, dimana pada frekuensi 1,575 GHz VSWR Output bernilai 2,345.

4.4. Pembahasan

Berdasarkan hasil yang telah didapat, peneliti akan menganalisis perbandingan hasil perhitungan dengan hasil simulasi serta menganalisis perbandingan hasil simulasi parameter LNA pada ADS dengan hasil pengukuran LNA.

4.4.1. Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Hasil Simulasi

Dalam penelitian terdapat perbandingan nilai antara hasil perhitungan dengan hasil simulasi. Parameter yang didapat dibandingkan adalah faktor kestabilan dan *gain*.

freq	S(1,1)	S(1,2)	S(2,1)	S(2,2)	StabFact1
1.000 GHz	0.413 / 165.321	8.353E-4 / -70.604	60.445 / 48.031	0.236 / -38.513	7.864
1.025 GHz	0.409 / 163.510	8.674E-4 / -76.168	59.205 / 41.088	0.230 / -43.960	7.789
1.050 GHz	0.404 / 161.638	9.016E-4 / -81.729	58.116 / 34.158	0.223 / -49.388	7.696
1.075 GHz	0.399 / 159.702	9.380E-4 / -87.295	57.153 / 27.233	0.216 / -54.819	7.587
1.100 GHz	0.393 / 157.697	9.768E-4 / -92.873	56.303 / 20.307	0.208 / -60.270	7.465
1.125 GHz	0.386 / 155.618	0.001 / -98.468	55.574 / 13.373	0.200 / -65.758	7.330
1.150 GHz	0.377 / 153.459	0.001 / -104.087	54.939 / 6.425	0.191 / -71.298	7.185
1.175 GHz	0.368 / 151.216	0.001 / -109.736	54.395 / -0.544	0.181 / -76.905	7.031
1.200 GHz	0.358 / 148.882	0.001 / -115.423	53.936 / -7.539	0.172 / -82.594	6.870
1.225 GHz	0.346 / 146.451	0.001 / -121.151	53.555 / -14.567	0.161 / -88.375	6.702
1.250 GHz	0.334 / 143.915	0.001 / -126.929	53.245 / -21.634	0.150 / -94.262	6.529
1.275 GHz	0.320 / 141.266	0.001 / -132.760	53.000 / -28.744	0.139 / -100.266	6.352
1.300 GHz	0.304 / 138.494	0.001 / -138.652	52.814 / -35.905	0.128 / -106.396	6.172
1.325 GHz	0.287 / 135.585	0.001 / -144.609	52.681 / -43.121	0.116 / -112.659	5.990
1.350 GHz	0.269 / 132.523	0.002 / -150.637	52.593 / -50.397	0.104 / -119.059	5.807
1.375 GHz	0.249 / 129.285	0.002 / -156.740	52.544 / -57.739	0.091 / -125.594	5.624
1.400 GHz	0.227 / 125.839	0.002 / -162.923	52.527 / -65.150	0.079 / -132.249	5.440
1.425 GHz	0.204 / 122.135	0.002 / -169.189	52.535 / -72.635	0.066 / -138.989	5.258
1.450 GHz	0.179 / 118.093	0.002 / -175.541	52.559 / -80.196	0.054 / -145.732	5.078
1.475 GHz	0.152 / 113.566	0.002 / 178.018	52.591 / -87.836	0.042 / -152.263	4.900
1.500 GHz	0.123 / 108.261	0.002 / 171.487	52.622 / -95.555	0.030 / -158.138	4.725
1.525 GHz	0.094 / 101.478	0.002 / 164.867	52.642 / -103.355	0.019 / -161.599	4.553
1.550 GHz	0.063 / 94.089	0.002 / 158.157	52.649 / -111.233	0.008 / -164.741	4.385
1.575 GHz	0.033 / 87.151	0.002 / 151.361	52.613 / -119.188	0.006 / -164.811	4.221
1.600 GHz	0.009 / 80.260	0.002 / 144.484	52.616 / -127.248	0.004 / -164.864	4.064
1.625 GHz	0.050 / -54.581	0.002 / 137.530	52.430 / -135.309	0.024 / -143.209	3.906
1.650 GHz	0.085 / -69.377	0.003 / 130.506	52.260 / -143.462	0.033 / -50.558	3.756
1.675 GHz	0.122 / -77.969	0.003 / 123.422	52.028 / -151.667	0.042 / -59.573	3.612
1.700 GHz	0.159 / -84.548	0.003 / 116.268	51.729 / -159.912	0.051 / -69.448	3.472
1.725 GHz	0.196 / -90.257	0.003 / 109.114	51.360 / -168.188	0.060 / -79.829	3.339
1.750 GHz	0.233 / -95.521	0.003 / 101.912	50.922 / -176.482	0.069 / -90.495	3.211
1.775 GHz	0.270 / -100.527	0.003 / 94.694	50.414 / 175.218	0.078 / -101.277	3.090
1.800 GHz	0.305 / -105.367	0.003 / 87.471	49.842 / 166.922	0.087 / -112.030	2.974
1.825 GHz	0.339 / -110.090	0.003 / 80.256	49.211 / 158.642	0.097 / -122.630	2.865
1.850 GHz	0.371 / -114.719	0.003 / 73.057	48.528 / 150.388	0.107 / -132.971	2.762
1.875 GHz	0.401 / -119.268	0.003 / 65.884	47.802 / 142.169	0.118 / -142.975	2.665
1.900 GHz	0.429 / -123.745	0.003 / 58.742	47.045 / 133.990	0.130 / -152.583	2.574
1.925 GHz	0.454 / -128.153	0.004 / 51.637	46.265 / 125.856	0.142 / -161.760	2.490
1.950 GHz	0.476 / -132.494	0.004 / 44.570	45.472 / 117.769	0.154 / -170.486	2.411
1.975 GHz	0.496 / -136.770	0.004 / 37.540	44.678 / 109.729	0.168 / -178.759	2.340
2.000 GHz	0.512 / -140.982	0.004 / 30.546	43.890 / 101.733	0.181 / 173.415	2.274
2.025 GHz	0.526 / -145.132	0.004 / 23.582	43.117 / 93.775	0.195 / 166.023	2.215
2.050 GHz	0.536 / -149.221	0.004 / 16.640	42.363 / 85.849	0.209 / 159.043	2.161
2.075 GHz	0.543 / -153.249	0.004 / 9.713	41.635 / 77.944	0.224 / 152.451	2.114
2.100 GHz	0.547 / -157.217	0.004 / 2.788	40.935 / 70.051	0.239 / 146.220	2.073
2.125 GHz	0.547 / -161.121	0.004 / -4.146	40.264 / 62.157	0.254 / 140.317	2.038
2.150 GHz	0.544 / -164.956	0.004 / -11.103	39.621 / 54.249	0.271 / 134.707	2.009
2.175 GHz	0.538 / -168.712	0.004 / -18.096	39.003 / 46.311	0.287 / 129.352	1.985
2.200 GHz	0.527 / -172.371	0.004 / -25.140	38.406 / 38.331	0.305 / 124.210	1.967
2.225 GHz	0.513 / -175.905	0.004 / -32.248	37.822 / 30.295	0.324 / 119.235	1.955
2.250 GHz	0.495 / -179.274	0.005 / -39.433	37.243 / 22.191	0.344 / 114.379	1.948
2.275 GHz	0.474 / 177.587	0.005 / -46.704	36.658 / 14.007	0.365 / 109.592	1.947
2.300 GHz	0.449 / 174.767	0.005 / -54.068	36.055 / 5.739	0.387 / 104.828	1.951
2.325 GHz	0.420 / 172.397	0.005 / -61.528	35.422 / -2.619	0.410 / 100.040	1.960
2.350 GHz	0.389 / 170.663	0.005 / -69.081	34.745 / -11.062	0.435 / 95.190	1.974
2.375 GHz	0.356 / 169.826	0.005 / -76.719	34.012 / -19.582	0.461 / 90.247	1.993
2.400 GHz	0.323 / 170.231	0.005 / -84.427	33.213 / -28.165	0.487 / 85.192	2.017
2.425 GHz	0.292 / 172.301	0.005 / -92.184	32.340 / -36.790	0.514 / 80.016	2.046
2.450 GHz	0.265 / 176.430	0.005 / -99.962	31.392 / -45.429	0.540 / 74.721	2.079
2.475 GHz	0.246 / -177.295	0.005 / -107.730	30.371 / -54.050	0.565 / 69.322	2.117

Gambar 4.24 Hasil Simulasi Nilai Kestabilan

Dari hasil simulasi didapatkan nilai kestabilan sebesar 4,221. Selanjutnya didapat nilai S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} dalam bentuk magnitude dan phase maka nilai kestabilan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.27) dan persamaan (2.32) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
|\Delta| &= S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \\
&= 0,033 \angle 67,151^\circ \times 0,006 \angle -64,811^\circ - 0,002 \angle 151,361^\circ \times 52,613 \angle -119,188^\circ \\
&= 0,104 \angle -147,529^\circ
\end{aligned}$$

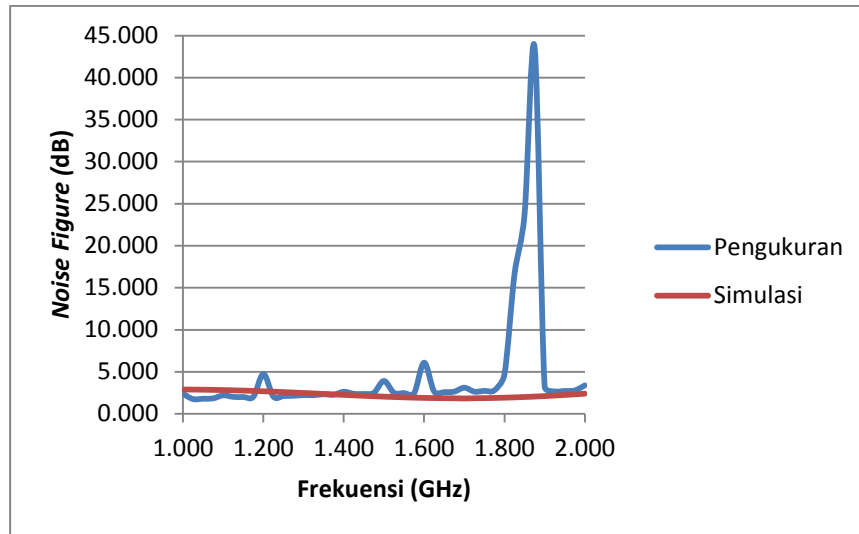
$$\begin{aligned}
K &= \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{21}S_{12}|} \\
&= \frac{1 - (0,033)^2 - (0,006)^2 + (0,104)^2}{2(52,613 \times 0,002)} \\
&= 4,809
\end{aligned}$$

Sedangkan untuk menghitung *gain* dapat dihitung menggunakan rumus *Operating Power Gain* (G_p) (pers 2.35) dengan nilai $K = 1,204$ untuk 1 transistor (LNA 1 tingkat),

$$\begin{aligned}
G_p &= \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| \left[K - \sqrt{K^2 - 1} \right] \\
G_p &= \left| \frac{52,613}{0,002} \right| \left[4,221 - \sqrt{4,221^2 - 1} \right] \\
G_p &= 3161,142 \\
G_{p_{dB}} &= 10 \log 3161,142 = 34,998 \text{ dB}
\end{aligned}$$

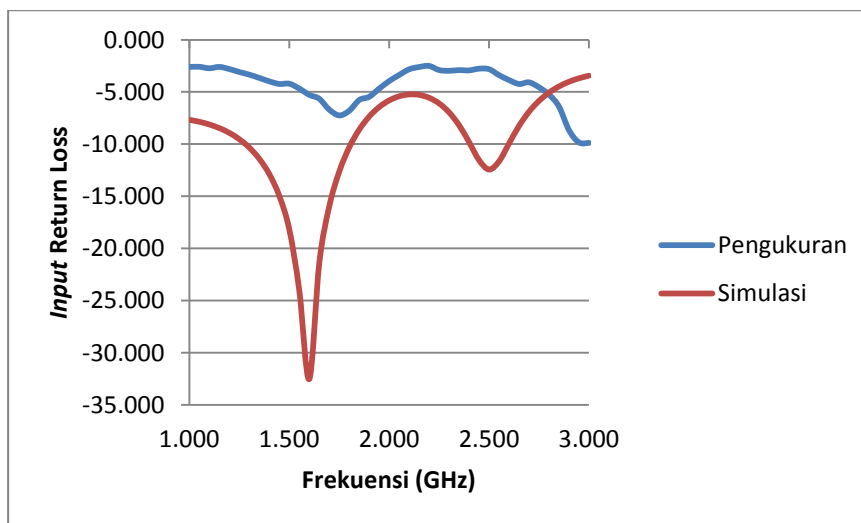
4.4.2. Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran

Parameter yang didapat dibandingkan adalah *Noise Figure*, S_{11} (*Input Return Loss*), S_{22} (*Output Return Loss*), *VSWR Input* dan *VSWR Output*. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran disajikan dalam bentuk grafik. Gambar 4.25 berikut ini menunjukkan perbandingan hasil simulasi *Noise Figure* dengan hasil pengukuran.



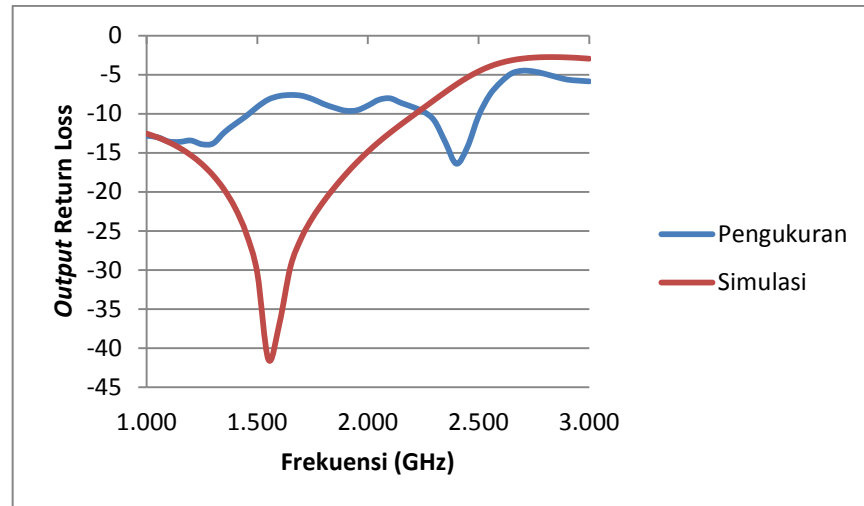
Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Simulasi dan Pengukuran Terhadap *Noise Figure*

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran S_{11} (*Input Return Loss*) ditunjukkan pada gambar 4.26.



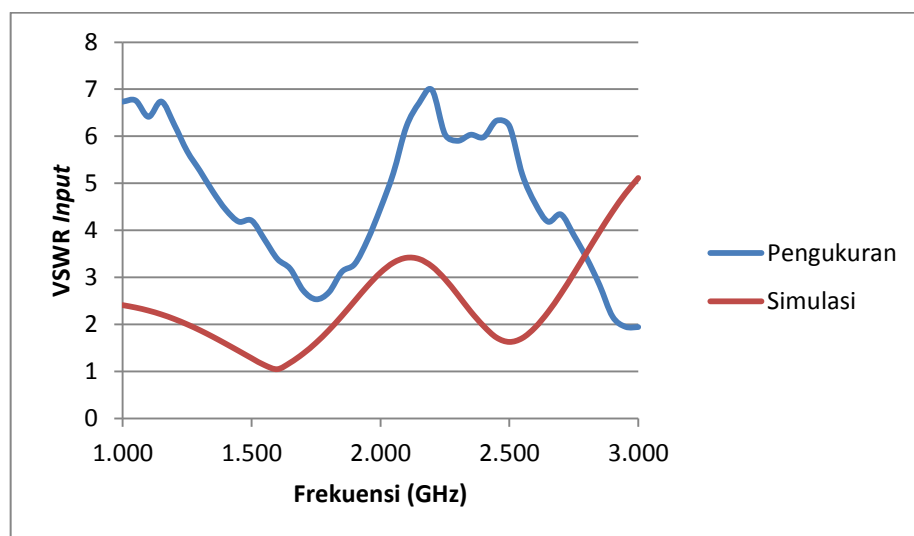
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Simulasi dan Pengukuran Terhadap S_{11} (*Input Return Loss*)

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran S_{22} (*Output Return Loss*) ditunjukkan pada gambar 4.27.



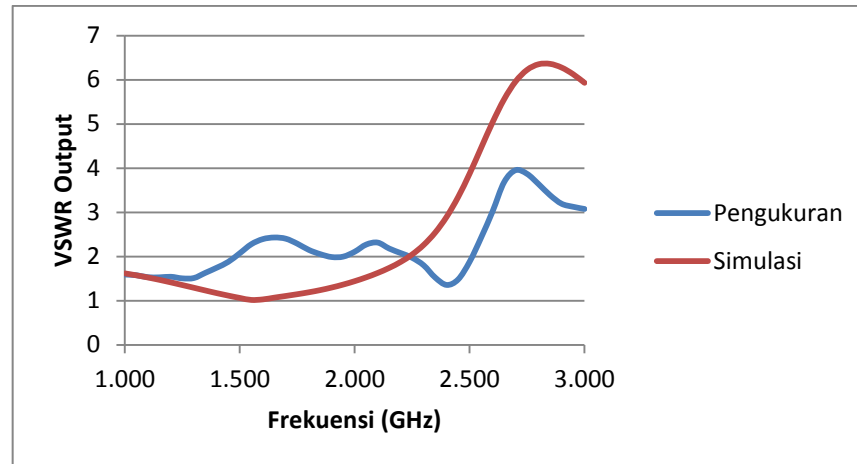
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Simulasi dan Pengukuran Terhadap S_{22} (*Output Return Loss*)

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran *VSWR Input* ditunjukkan pada gambar 4.28.



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Simulasi dan Pengukuran Terhadap *VSWR Input*

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran *VSWR Output* ditunjukkan pada gambar 4.29.



Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Simulasi dan Pengukuran VSWR Terhadap *Output*

Perbedaan hasil simulasi LNA menggunakan *software* ADS 2011 dengan hasil pengukuran menggunakan *vector network analyzer* disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya:

1. Perbedaan nilai komponen LNA

Nilai komponen pasif yang digunakan untuk fabrikasi berbeda dengan nilai komponen saat simulasi, hal ini dikarenakan dalam dunia nyata komponen mempunyai nilai toleransi beberapa persen tidak seideal pada simulasi, disamping itu peneliti juga harus menyesuaikan nilai komponen yang terdapat di pasaran. Sehingga berbeda sedikit saja nilai komponen akan sangat mempengaruhi hasil pengukuran yang berdampak pada perubahan frekuensi resonansi. Hal ini dibenarkan berdasarkan simulasi pada ADS, perubahan sedikit nilai pada komponen menyebabkan perubahan respon frekuensi.

Begitu pula pada komponen aktif LNA yang belum terjamin keasliannya, sehingga akan berbeda dengan parameter yang terdapat pada *datasheet* transistor.

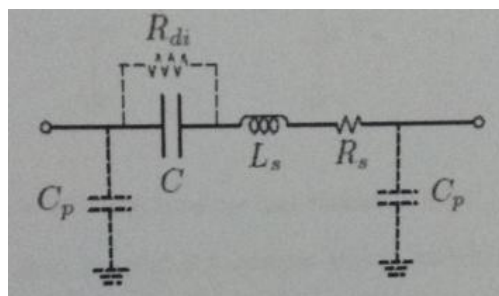
2. Perbedaan ukuran *stripline*

Ukuran *stripline* yang difabrikasi berbeda dengan ukuran *stripline* pada saat perhitungan manual, hal ini terjadi dikarenakan adanya proses optimalisasi pada saat pengukuran sehingga berbeda sedikit saja ukuran *stripline* akan sangat mempengaruhi hasil pengukuran yang berdampak pada perubahan frekuensi resonansi. Hal ini dibenarkan berdasarkan simulasi pada ADS, perubahan sedikit ukuran *stripline* menyebabkan perubahan respon frekuensi.

3. Timbulnya komponen *parasitic*

✓ Ketika sinyal RF melalui kapasitor

Kapasitor yang telah disolder pada PCB kemudian dilewati sinyal RF akan mempunyai model sirkuit seperti gambar berikut ini (Budiardhianto, 2011:66).



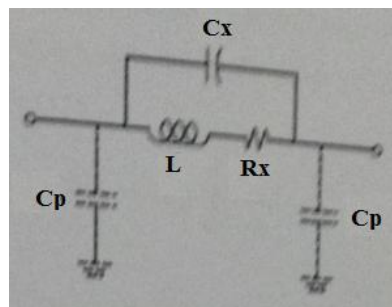
Gambar 4.30 Model Kapasitor Pada PCB Yang Dilewati Sinyal RF

Model sirkuit tersebut muncul karena penggunaan kapasitor pada frekuensi tinggi. Munculnya *self-resonance* tidak dapat dihindarkan pada kapasitor karena adanya sinyal RF yang mengalir melalui kapasitor sehingga menimbulkan medan magnet. Adanya medan magnet tersebut menimbulkan induksi baru. Induktansi ini semakin diperburuk dengan adanya timah penyolderan pada kapasitor. Pada gambar 4.27 induktor *parasitic* diberi nama L_s yang tersusun secara seri dengan kapasitor. Konduktivitas yang terbatas

dari lapisan konduktor dan timah menghasilkan *loss* seri yang dimodelkan dengan R_s (dapat juga dengan ESR atau *Effective Series Resistance*). Walaupun kapasitor mempunyai material dielektrik yang memisahkan lapisan konduktor atas dan bawah juga mempunyai *loss* dan resonansi, yang biasanya dimodelkan sebagai *shunt resistance* R_{di} . Kapasitor yang telah disolder ke PCB dan dilewati sinyal RF juga menimbulkan nilai kapasitansi *parasitic* C_p antara pensolderan *pad* dan *ground*.

✓ Ketika sinyal RF melalui induktor

Induktor yang telah disolder pada PCB kemudian dilewati sinyal RF akan mempunyai model sirkuit seperti gambar berikut ini (Budiardhianto, 2011: 67).



Gambar 4.31 Model Induktor Pada PCB Yang Dilewati Sinyal RF

Pada induktor akan muncul nilai R_x sebagai resistansi lilitan, selain itu muncul kapasitansi C_x akibat perbedaan tegangan antar lilitan. Sama seperti halnya pada kapasitor, induktor yang telah disolder ke PCB dan dilewati sinyal RF akan muncul kapasitansi tambahan antara *pad* dan *ground* yang dimodelkan dengan C_p .

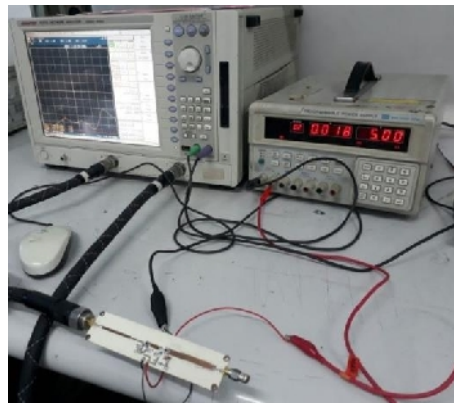
4. Penyolderan komponen SMD secara manual

Penyolderan komponen SMD membutuhkan tingkat keahlian yang tinggi karena dimensi SMD yang hanya berukuran mm. Hasil solderan manual yang

kurang bagus dan rapih sangat mempengaruhi respon frekuensi saat pengukuran LNA (seperti *point 3*). Karena pada industri besar, komponen-komponen SMD disolder menggunakan mesin otomatis yang mempunyai tingkat presisi yang tinggi.

5. Terdapat *loss* pada kabel koaksial

Pada saluran transmisi pasti mempunyai *loss* beberapa dB, tingkat *loss* naik seiring bertambahnya ukuran saluran transmisi. Pada pengukuran LNA, digunakan kabel *coaxial* yang cukup besar untuk menghubungkan *port* VNA ke *port* rangkaian LNA. Berikut ini adalah gambar sambungan kabel *coaxial* pada *port* rangkaian LNA.



Gambar 4.32 Sambungan Kabel *Coaxial* Pada *Port* Rangkaian LNA

Berikut ini adalah tabel hasil perbandingan antara simulasi menggunakan perangkat lunak *Advanced Design System* dengan hasil pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer*.

Tabel 4.7 Hasil Perbandingan Antara Simulasi Dengan Pengukuran LNA

Parameter Frekuensi	Kestabilan	S_{21} (gain)	Noise Figure	S_{11} (input return loss)	S_{22} (output return loss)	VSWR input	VSWR output
Simulasi							
1,500 GHz	4,725	34,423	2,046	-18,175	-30,372	1,281	1,062
1,575 GHz	4,221	34,422	1,927	-29,504	-45,068	1,069	1,011
1,650 GHz	3,756	34,363	1,860	-21,412	-29,583	1,186	1,069
Pengukuran							
1,500 GHz			3,912	-4,209	-9,129	4,207	2,074
1,575 GHz	4,809	24,91	2,440	-4,780	-7,910	3,726	2,345
1,650 GHz			2,583	-5,653	-7,597	3,180	2,430
Keterangan : Pada hasil simulasi parameter <i>input return loss</i> dengan nilai -10 didapat pada frekuensi 1,300 GHz sebesar -10,338 dan -10,312 pada frekuensi 1,800 GHz. Pada hasil simulasi parameter <i>output return loss</i> dengan nilai -10 didapat pada frekuensi 725 MHz sebesar -10,186 dan -10,311 pada frekuensi 2,200 GHz. Pada hasil simulasi parameter VSWR <i>input</i> dengan nilai 1,92 didapat pada frekuensi 1,275 GHz sebesar 1,939 dan 1,878 pada frekuensi 1,800 GHz. Pada hasil simulasi parameter VSWR <i>output</i> dengan nilai 1,92 didapat pada frekuensi 700 MHz sebesar 1,964 dan 1,958 pada frekuensi 2,225 GHz.							

Pada tabel 4.7 didapatkan dari hasil simulasi semua parameter telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Akan tetapi pada hasil pengukuran hanya parameter kestabilan dan *gain* saja yang telah memenuhi spesifikasi yang

diharapkan sehingga pada parameter *input* dan *output return loss* serta VSWR *input* dan *output* terdapat ketidaksesuaian dengan hasil simulasi dan terjadi pergeseran frekuensi sehingga menyebabkan dari hasil pengukuran berbeda jauh dengan hasil simulasi.

4.5. Kelemahan Penelitian

Pada penelitian ini hasil simulasi LNA menggunakan perangkat lunak *Advanced Design System 2011* berbeda dengan hasil pengukuran LNA menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer, Signal Generator, Spectrum Analyzer* dan *Noise Source*. Hal ini disebabkan penggunaan nilai komponen yang mempunyai toleransi pada komponen LNA (tidak ideal seperti simulasi), bedanya ukuran *stripline*, timbulnya komponen *parasitic*, penyolderan komponen secara manual serta kemungkinan terdapat *loss* kabel pada sambungan *port* VNA ke rangkaian LNA. Sehingga produk yang dihasilkan belum efektif untuk digunakan pada masyarakat luas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, fabrikasi dan analisis pengukuran, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dilakukan perancangan LNA pada frekuensi 1,575 GHz 2 tingkat dengan metode penyesuai impedansi $\lambda/4$ menggunakan *software* ADS 2011, kemudian juga telah dilakukan fabrikasi dan dievaluasi kinerjanya.
2. Hasil perancangan telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu pada frekuensi 1,575 GHz memiliki nilai kestabilan > 1 , *Gain* > 20 dB, *Noise Figure* < 1 dB, *Input dan Output Return Loss* < -10 dB, *VSWR* $< 1,92$.
3. Hasil simulasi pada frekuensi 1,575 GHz didapatkan nilai kestabilan sebesar 4,221, *Gain* 34,422 dB, *Noise Figure* 1,927 dB, *Input Return Loss* -29,504 dB, *Output Return Loss* -45,068 dB, *VSWR Input* 1,069, *VSWR Output* 1,011.
4. Hasil pengukuran menggunakan VNA menunjukkan ketidaksesuaian dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ADS 2011. Hal ini disebabkan penggunaan nilai komponen yang mempunyai toleransi pada komponen LNA (tidak ideal seperti simulasi), bedanya ukuran *stripline*, timbulnya komponen *parasitic*, penyolderan komponen secara manual, serta kemungkinan terdapatnya *loss* kabel pada sambungan *port* VNA ke rangkaian LNA.

5. Hasil pengukuran terjadi pergeseran frekuensi, dimana untuk hasil pengukuran nilai kestabilan sebesar 4,809, *Gain* 24,91 dB, *Noise Figure* 2,440 dB, *Input Return Loss* -4,780 dB, *Output Return Loss* -7,910 dB, *VSWR Input* 3,726, *VSWR Output* 2,345.

5.2. Saran

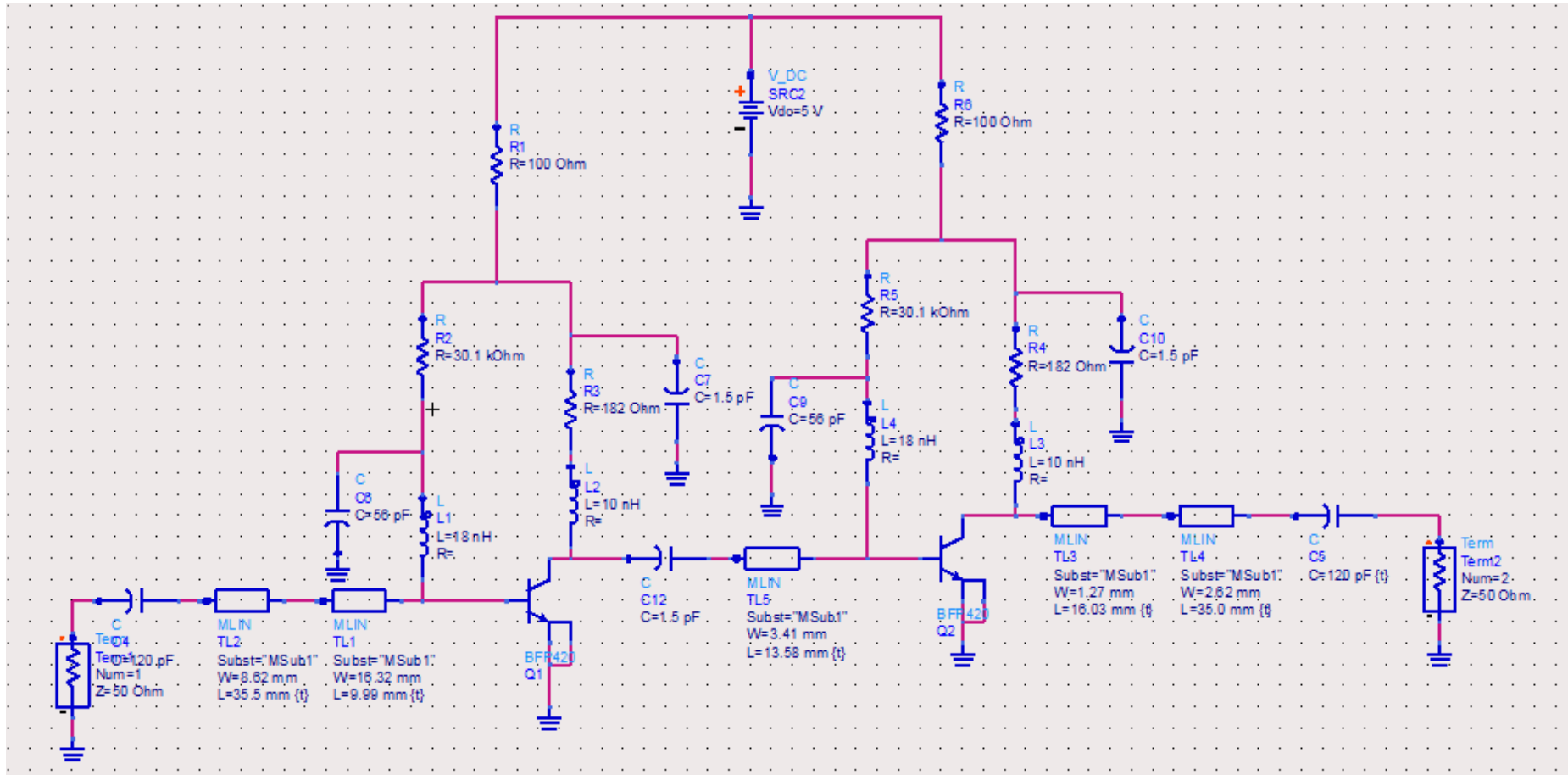
Dalam melakukan rancang bangun *low noise amplifier* ada beberapa saran yang ingin disampaikan, diantaranya:

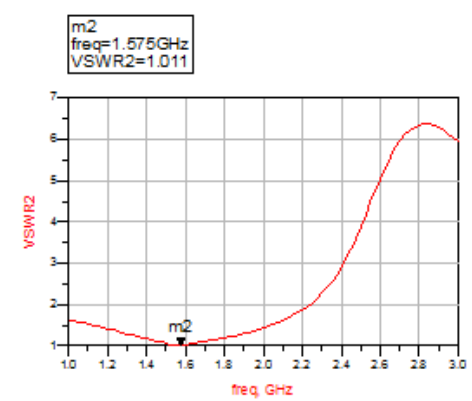
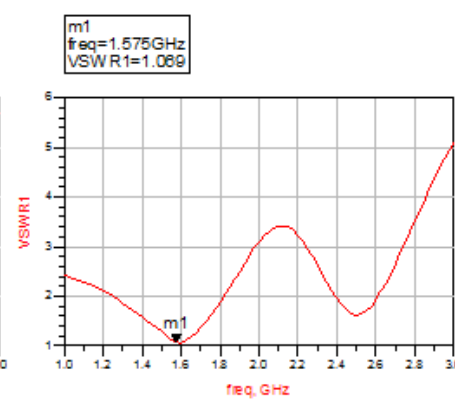
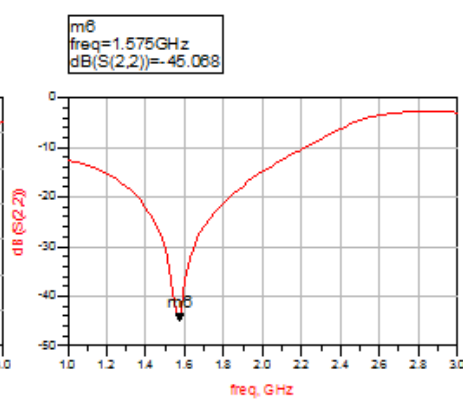
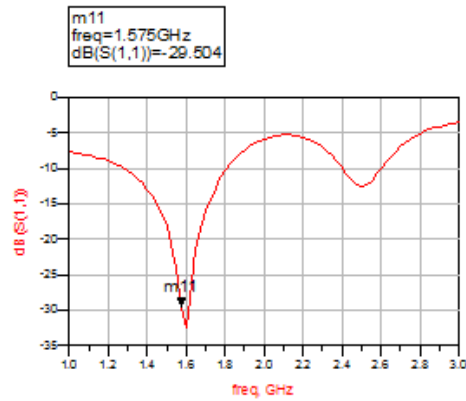
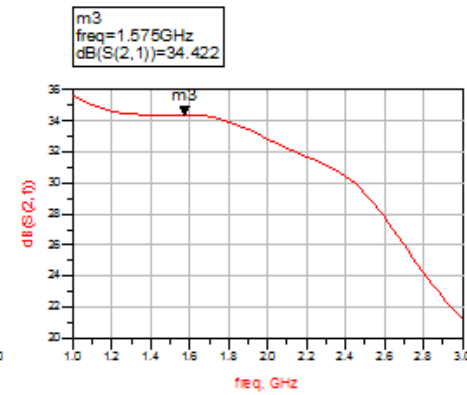
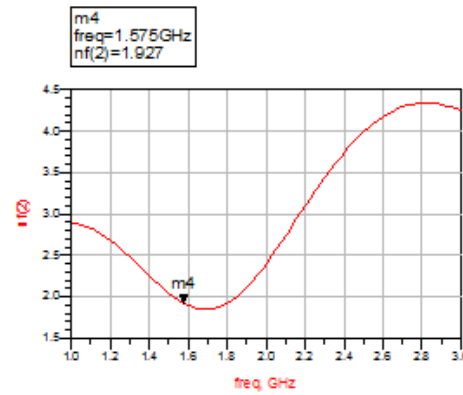
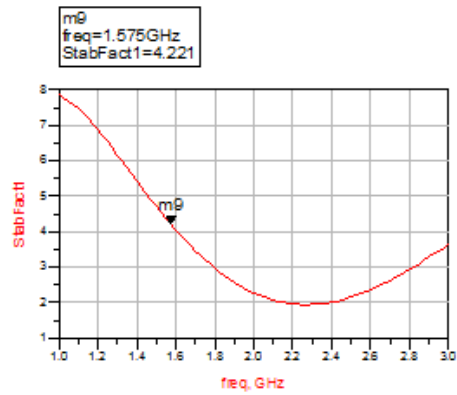
1. Sebelum melakukan perancangan, sebaiknya lakukan studi literatur dengan baik. Dengan banyaknya sumber referensi, maka teknik dan trik perancangan akan lebih bervariasi dan dapat menghasilkan kualitas alat yang baik.
2. Dalam melakukan desain terlebih dahulu memahami spesifikasi dari jenis transistor yang akan digunakan menggunakan *datasheet* transistor.
3. Menggunakan peralatan anti septik untuk berkontak langsung dengan komponen aktif LNA. Karena dari kebanyakan *datasheet* transistor yang digunakan merupakan komponen aktif yang bersifat ESD (*Electro Static Discharge*).
4. Menggunakan nilai komponen yang tidak terlalu banyak selisihnya dari perhitungan manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahan Ajar Materi Penyesuai Impedansi, Politeknik Negeri Bandung.
- Balanis, C. A., 2005, *Antenna Theory Analysis and Design*, 2nd Ed, USA: John Wiley & Sons.Inc.
- Bowick, Chris., 2008, *RF Circuit Design*, USA : Elsevier. Inc.
- Boylestad, Robert., and Nashelskt, Louis., 2013, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 11th Ed, Pearson Education, Inc.
- Budiardhianto, Budiman., 2011, *Skripsi: Rancang Bangun High Gain Fully Concurrent Quadband Low Noise Amplifier Dengan Inductive-Resistive Degeneration*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Firmansyah, Teguh., 2012, *Tesis: Rancang Bangun Concurrent Multiand LNA Dengan Menggunakan Multisection Impedance Transformer*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Hariwibowo, Sulistyoo., 2008, *Skripsi: Perancangan LNA Untuk Mobile WiMax 802.16e Pada Pita Frekuensi 2,3 GHz*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Harso, Darmawan Koe., 2000, *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)*, Bandung: Departemen Pendidikan Nasional.
- Infineon Technologies AG, *Datasheet BFP-420*, akses online 14 Nopember 2016, URL:https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BFP420-DS-v01_01-en.pdf?fileId=db3a30431400ef6801142769cd120763
- Ludwig, Reinhold., and Bretchko, Pavel., 2000, *RF Circuit Design (Theory and Applications)*, USA: Prentice-Hall, Inc.
- Malvino., terj. Hanapi Gunawan, 1979, *Prinsip-Prinsip Elektronik*, 2nd Ed, Jakarta: Erlangga.
- Mutiari, Dyah Ayu., 2016, *Tugas Akhir: Perancangan dan Realisasi Dielectric Resonator Oscillator Pada Frekuensi Kerja 9,2 GHz*, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- Orfanidis, Sophocles J., 2014, *Electromagnetic Waves and Antennas*, Rutgers University.
- Pozar, David M., 2012, *Microwave Engineering*, 4th Ed, John Wiley & Sons, Inc.
- Prayadinata, Doby., 2012, *Tesis: Rancang Bangun Concurrent Quadband LNA Dengan LC-Resonator Untuk Aplikasi Mobile Broadband Wireless Access*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

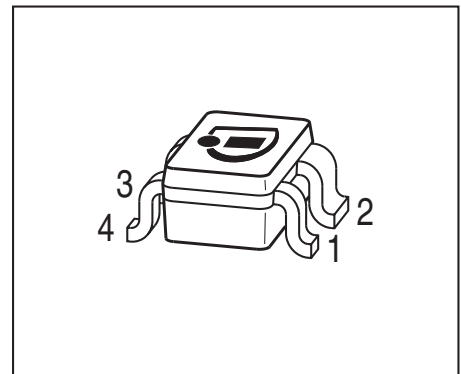
- Prasetya, Gigih Lukma., 2016, *Skripsi: Rancang Bangun Low Noise Amplifier Pada Frekuensi 1,805-1,880 GHz Menggunakan Metode Cascade 3 Tingkat Dengan Pembiasan Self Bias*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta.
- Putra, Ricky Dwi., 2015, *Tugas Akhir: Low-Noise Amplifier Pada Frekuensi 9,3 GHz Dengan Menggunakan Teknik Non-Conjugate Match dan Conjugate Match*, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- Raharjo, Dwi Muji., 2011, *Tesis: Rancang Bangun Simultan Dual Band LNA Dengan LC-Resonator Matching Untuk CPE m-BWA Pada Frekuensi 2,3 dan 2,6 GHz*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Ramana., Et all., 2007, *Master's Thesis: Low Noise Amplifier For Radio Telescope at 1.42 GHz*, Halmstad University.
- Rogers, John., and Plett, Calvin., 2003, *Radio Frequency Integrated Circuit Design*, Boston: Artechhouse.
- Sayre, Cotter W., 2008, *Complete Wireless Design*, 2th Ed, Amerika: McGraw-Hill.
- Sugiyono, 2009. *Metode Penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D*, Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Sulistyaningrum, Puspita., 2012 *Skripsi: Perancangan Concurrent Multiband Low Noise Amplifier Menggunakan CMOS 0,18 μ m*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Tim Penyusun KBBI, 2008, *Kamus Besar Bahasa Indonesia*, Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Wijaksono, Adhimas Rizki., 2014, *Tugas Akhir: Desain dan Realisasi Low Noise Amplifier (LNA) Pada Pita Frekuensi 3 GHz Untuk Aplikasi Sistem Radar*, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung.





Low Noise Silicon Bipolar RF Transistor

- For high gain and low noise amplifiers
- Minimum noise figure $NF_{\min} = 1.1$ dB at 1.8 GHz
Outstanding $G_{\text{ms}} = 21$ dB at 1.8 GHz
- For oscillators up to 10 GHz
- Transition frequency $f_T = 25$ GHz
- Pb-free (RoHS compliant) and halogen-free package with visible leads
- Qualification report according to AEC-Q101 available



ESD (Electrostatic discharge) sensitive device, observe handling precaution!

Type	Marking	Pin Configuration						Package
BFP420	AMs	1=B	2=E	3=C	4=E	-	-	SOT343

Maximum Ratings at $T_A = 25$ °C, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Value	Unit
Collector-emitter voltage $T_A = 25$ °C $T_A = -55$ °C	V_{CEO}	4.5 4.1	V
Collector-emitter voltage	V_{CES}	15	
Collector-base voltage	V_{CBO}	15	
Emitter-base voltage	V_{EBO}	1.5	
Collector current	I_{C}	60	mA
Base current	I_{B}	9	
Total power dissipation ¹⁾ $T_S \leq 98$ °C	P_{tot}	210	mW
Junction temperature	T_{J}	150	°C
Storage temperature	T_{Stg}	-55 ... 150	

¹⁾ T_S is measured on the emitter lead at the soldering point to the pcb

Thermal Resistance

Parameter	Symbol	Value	Unit
Junction - soldering point ¹⁾	R_{thJS}	250	K/W

Electrical Characteristics at $T_A = 25\text{ °C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Values			Unit
		min.	typ.	max.	
DC Characteristics					
Collector-emitter breakdown voltage $I_C = 1\text{ mA}, I_B = 0$	$V_{(BR)CEO}$	4.5	5	-	V
Collector-emitter cutoff current $V_{CE} = 15\text{ V}, V_{BE} = 0$	I_{CES}	-	-	10	μA
Collector-base cutoff current $V_{CB} = 5\text{ V}, I_E = 0$	I_{CBO}	-	-	100	nA
Emitter-base cutoff current $V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0$	I_{EBO}	-	-	3	μA
DC current gain $I_C = 20\text{ mA}, V_{CE} = 4\text{ V}$, pulse measured	h_{FE}	60	95	130	-

¹For the definition of R_{thJS} please refer to Application Note AN077 (Thermal Resistance Calculation)

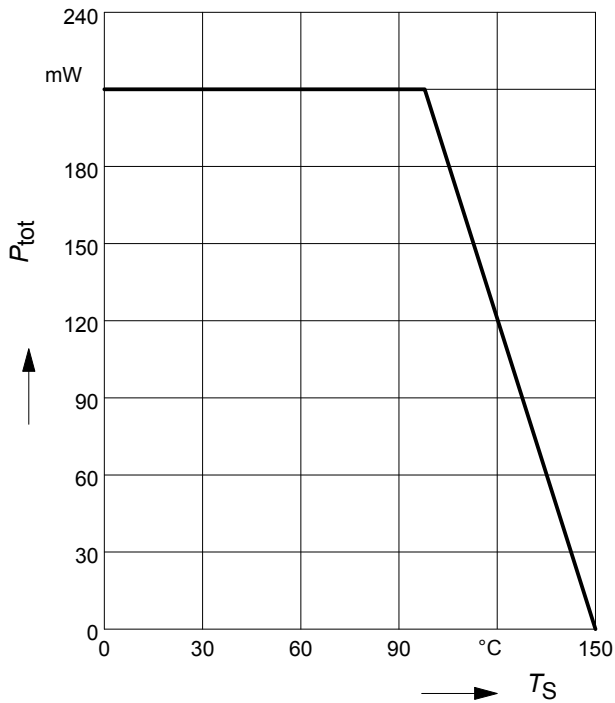
Electrical Characteristics at $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Values			Unit
		min.	typ.	max.	
AC Characteristics (verified by random sampling)					
Transition frequency $I_C = 30\text{ mA}$, $V_{CE} = 3\text{ V}$, $f = 2\text{ GHz}$	f_T	18	25	-	GHz
Collector-base capacitance $V_{CB} = 2\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $V_{BE} = 0$, emitter grounded	C_{cb}	-	0.15	0.3	pF
Collector emitter capacitance $V_{CE} = 2\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $V_{BE} = 0$, base grounded	C_{ce}	-	0.37	-	
Emitter-base capacitance $V_{EB} = 0.5\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $V_{CB} = 0$, collector grounded	C_{eb}	-	0.55	-	
Minimum noise figure $I_C = 5\text{ mA}$, $V_{CE} = 2\text{ V}$, $f = 1.8\text{ GHz}$, $Z_S = Z_{Sopt}$	NF_{min}	-	1.1	-	dB
Power gain, maximum stable ¹⁾ $I_C = 20\text{ mA}$, $V_{CE} = 2\text{ V}$, $Z_S = Z_{Sopt}$, $Z_L = Z_{Lopt}$, $f = 1.8\text{ GHz}$	G_{ms}	-	21	-	dB
Insertion power gain $V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 20\text{ mA}$, $f = 1.8\text{ GHz}$, $Z_S = Z_L = 50\ \Omega$	$ S_{21} ^2$	14	17	-	
Third order intercept point at output ²⁾ $V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 20\text{ mA}$, $f = 1.8\text{ GHz}$, $Z_S = Z_L = 50\ \Omega$	$IP3$	-	22	-	dBm
1dB compression point at output $I_C = 20\text{ mA}$, $V_{CE} = 2\text{ V}$, $Z_S = Z_L = 50\ \Omega$, $f = 1.8\text{ GHz}$	P_{-1dB}	-	12	-	

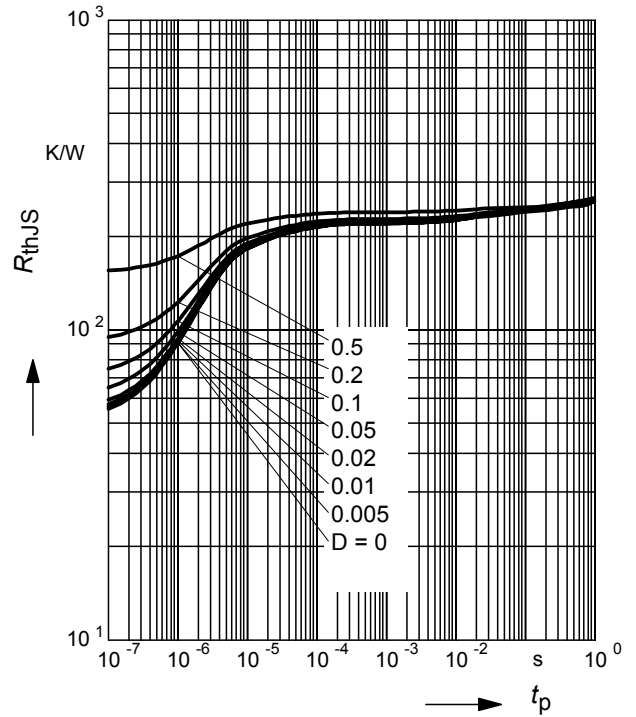
$$^1G_{ms} = |S_{21} / S_{12}|$$

²IP3 value depends on termination of all intermodulation frequency components.
Termination used for this measurement is 50Ω from 0.1 MHz to 6 GHz

Total power dissipation $P_{tot} = f(T_S)$

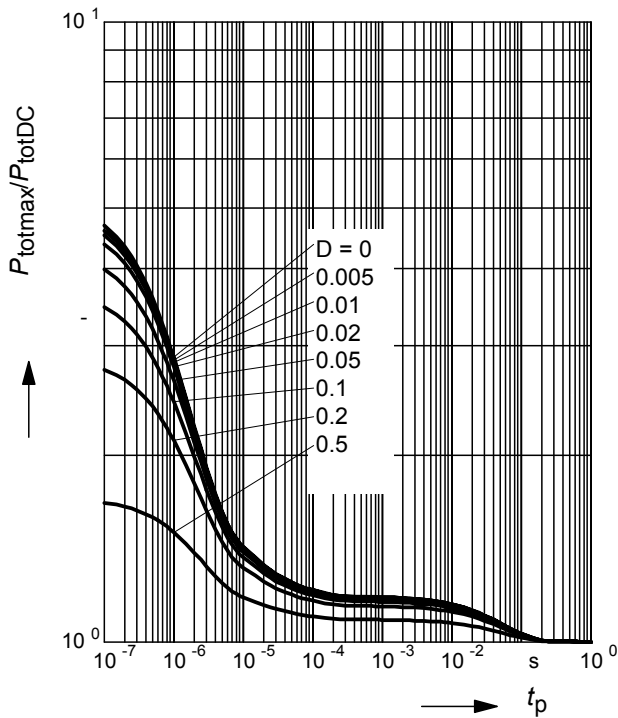


Permissible Pulse Load $R_{thJS} = f(t_p)$



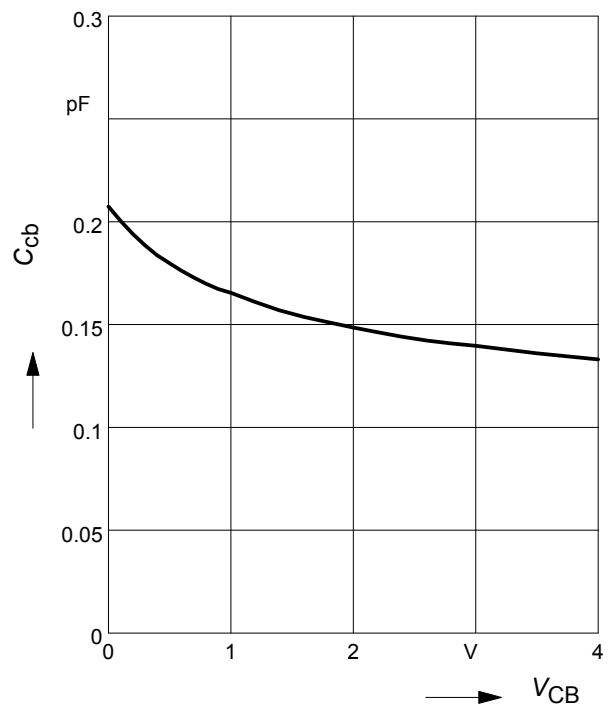
Permissible Pulse Load

$P_{totmax}/P_{totDC} = f(t_p)$



Collector-base capacitance $C_{cb} = f(V_{CB})$

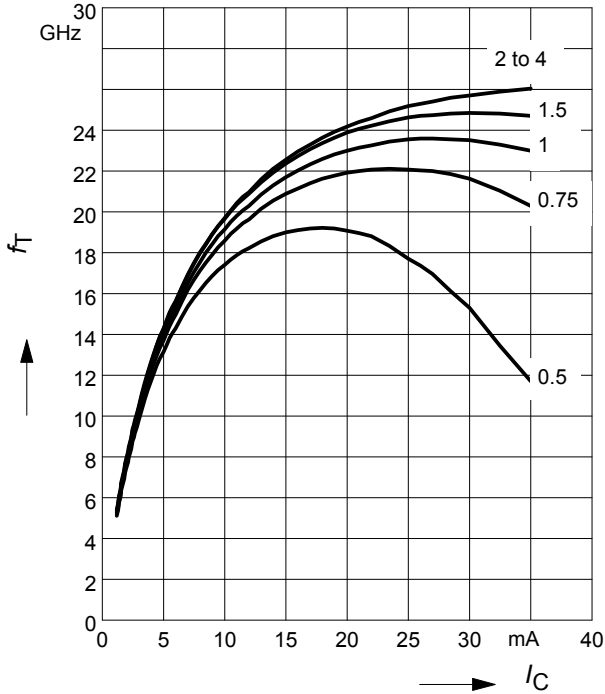
$f = 1\text{MHz}$



Transition frequency $f_T = f(I_C)$

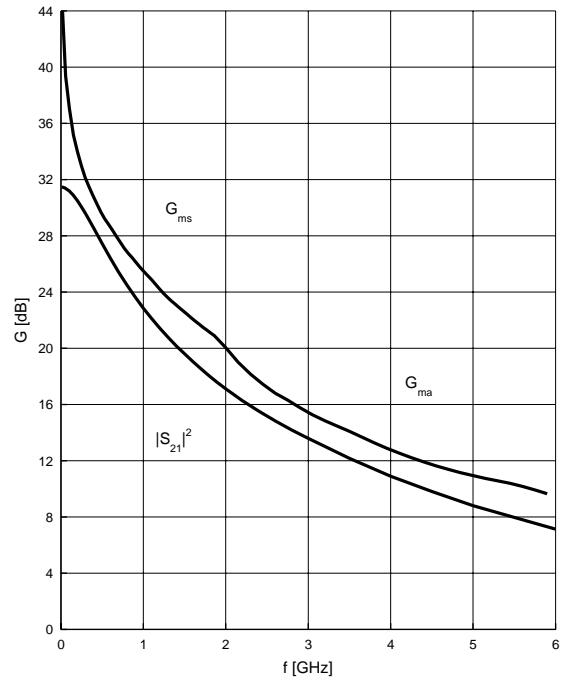
$f = 2 \text{ GHz}$

$V_{CE} = \text{parameter in V}$



Power gain $G_{ma}, G_{ms}, |S_{21}|^2 = f(f)$

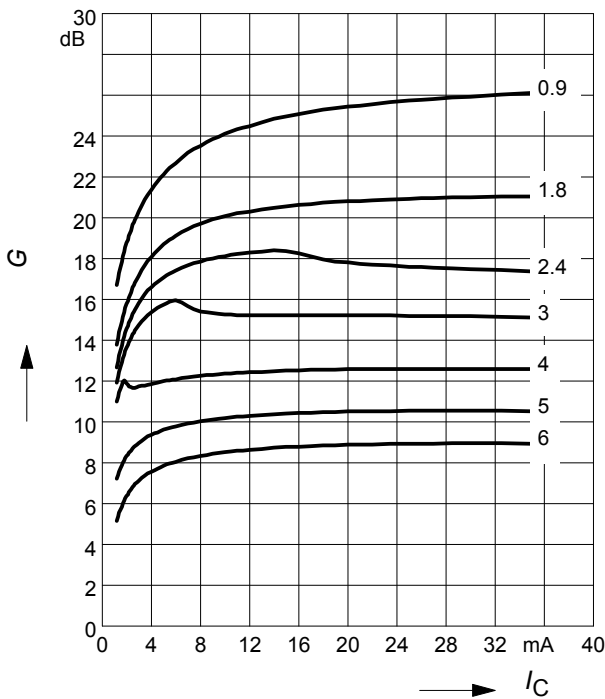
$V_{CE} = 2 \text{ V}, I_C = 20 \text{ mA}$



Power gain $G_{ma}, G_{ms} = f(I_C)$

$V_{CE} = 2 \text{ V}$

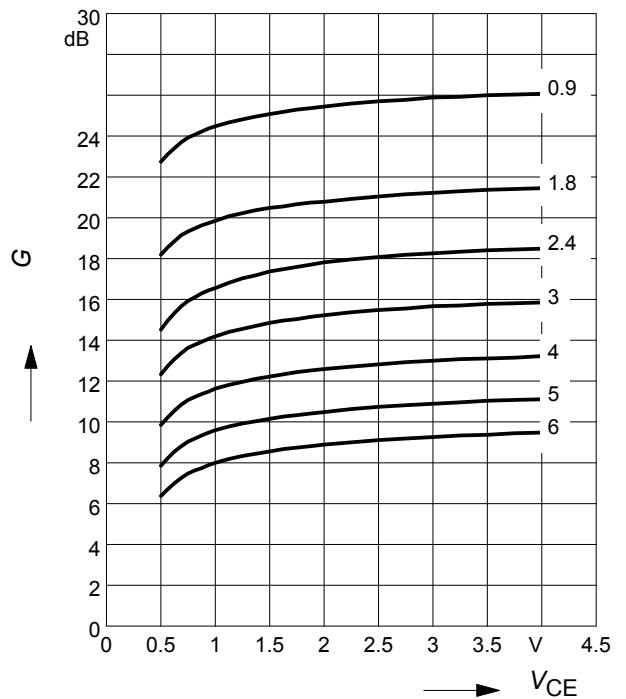
$f = \text{parameter in GHz}$



Power gain $G_{ma}, G_{ms} = f(V_{CE})$

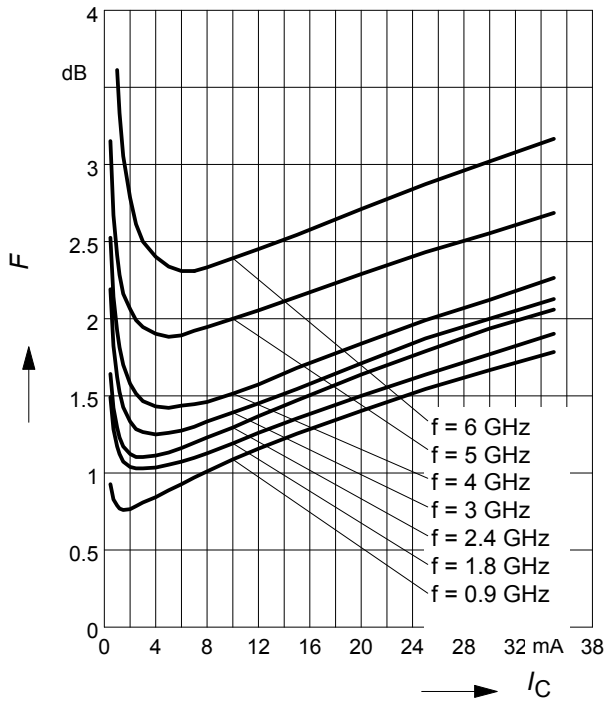
$I_C = 20 \text{ mA}$

$f = \text{parameter in GHz}$



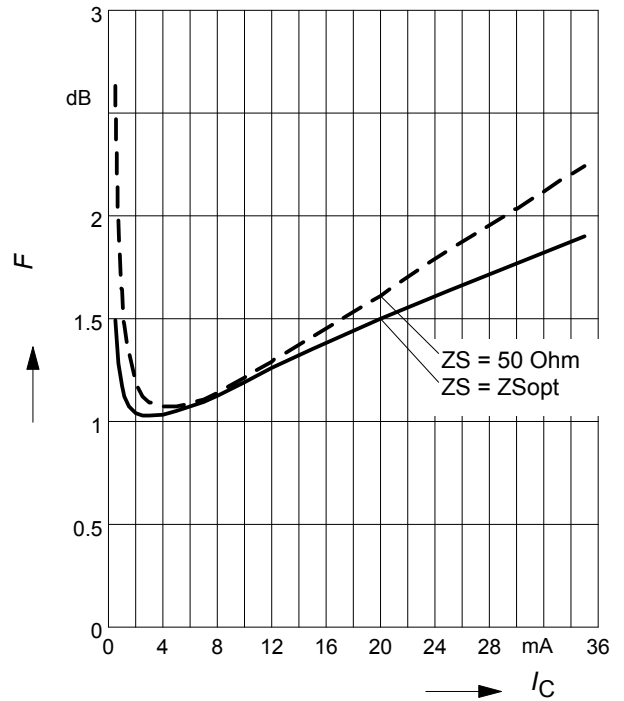
Noise figure $F = f(I_C)$

$V_{CE} = 2\text{ V}$, $Z_S = Z_{Sopt}$



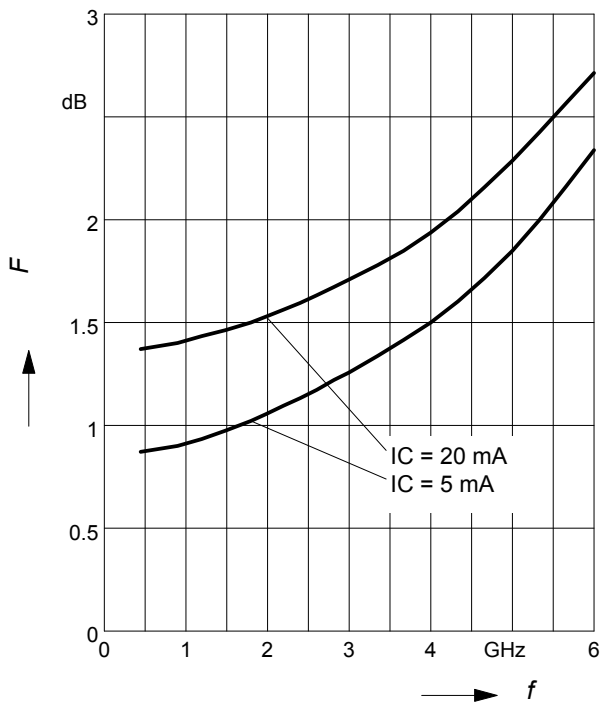
Noise figure $F = f(I_C)$

$V_{CE} = 2\text{ V}$, $f = 1.8\text{ GHz}$



Noise figure $F = f(f)$

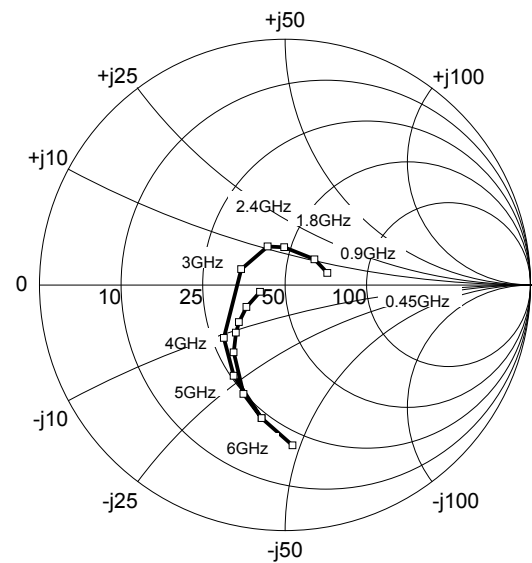
$V_{CE} = 2\text{ V}$, $Z_S = Z_{Sopt}$



Source impedance for min.

noise figure vs. frequency

$V_{CE} = 2\text{ V}$, $I_C = 5\text{ mA} / 20\text{ mA}$

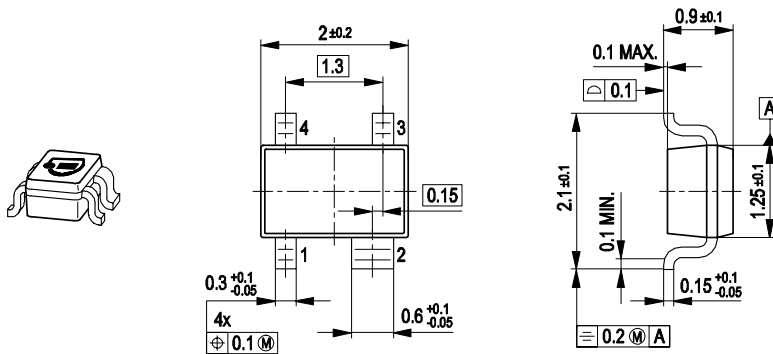


SPICE GP Model

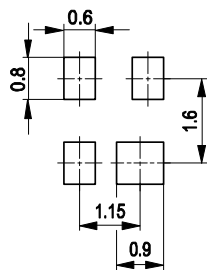
For the SPICE Gummel Poon (GP) model as well as for the S-parameters (including noise parameters) please refer to our internet website www.infineon.com/rf.models.

Please consult our website and download the latest versions before actually starting your design. You find the BFP420 SPICE GP model in the internet in MWO- and ADS-format, which you can import into these circuit simulation tools very quickly and conveniently. The model already contains the package parasitics and is ready to use for DC and high frequency simulations. The terminals of the model circuit correspond to the pin configuration of the device. The model parameters have been extracted and verified up to 10 GHz using typical devices. The BFP420 SPICE GP model reflects the typical DC- and RF-performance within the limitations which are given by the SPICE GP model itself. Besides the DC characteristics all S-parameters in magnitude and phase, as well as noise figure (including optimum source impedance, equivalent noise resistance and flicker noise) and intermodulation have been extracted.

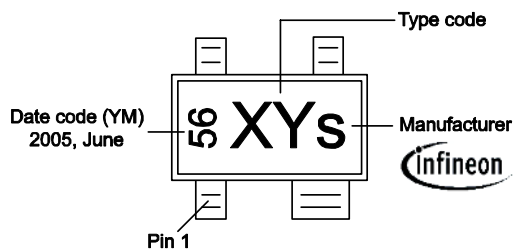
Package Outline



Foot Print

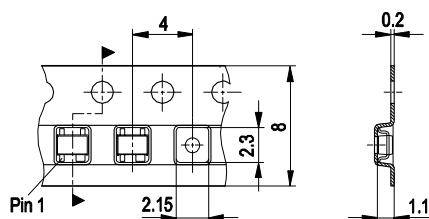


Marking Layout (Example)



Standard Packing

Reel ø180 mm = 3.000 Pieces/Reel
 Reel ø330 mm = 10.000 Pieces/Reel



Edition 2009-12-02

Published by

Infineon Technologies AG

85579 Neubiberg, Germany

© Infineon Technologies AG 2009.

All Rights Reserved.

Attention please!

The information herein is given to describe certain components and shall not be considered as a guarantee of characteristics.

Terms of delivery and rights to technical change reserved.

We hereby disclaim any and all warranties, including but not limited to warranties of non-infringement, regarding circuits, descriptions and charts stated herein.

Information

For further information on technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies Office (www.infineon.com).

Warnings

Due to technical requirements components may contain dangerous substances.

For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies Office.

Infineon Technologies Components may only be used in life-support devices or systems with the express written approval of Infineon Technologies, if a failure of such components can reasonably be expected to cause the failure of that life-support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

Life support devices or systems are intended to be implanted in the human body, or to support and/or maintain and sustain and/or protect human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health of the user or other persons may be endangered.

RO4000® Series High Frequency Circuit Materials

RO4000® hydrocarbon ceramic laminates are designed to offer superior high frequency performance and low cost circuit fabrication. The result is a low loss material which can be fabricated using standard epoxy/glass (FR-4) processes offered at competitive prices.

The selection of laminates typically available to designers is significantly reduced once operational frequencies increase to 500 MHz and above. RO4000 material possesses the properties needed by designers of RF microwave circuits and matching networks and controlled impedance transmission lines. Low dielectric loss allows RO4000 series material to be used in many applications where higher operating frequencies limit the use of conventional circuit board laminates. The temperature coefficient of dielectric constant is among the lowest of any circuit board material (Chart 1), and the dielectric constant is stable over a broad frequency range (Chart 2). For reduced insertion loss, LoPro™ foil is available (Chart 3). This makes it an ideal substrate for broadband applications.

RO4000 material's thermal coefficient of expansion (CTE) provides several key benefits to the circuit designer. The expansion coefficient of RO4000 material is similar to that of copper which allows the material to exhibit excellent dimensional stability, a property needed for mixed dielectric multi-layer boards constructions. The low Z-axis CTE of RO4000 laminates provides reliable plated through-hole quality, even in severe thermal shock applications. RO4000 series material has a Tg of >280°C (536°F) so its expansion characteristics remain stable over the entire range of circuit processing temperatures.

RO4000 series laminates can easily be fabricated into printed circuit boards using standard FR-4 circuit board processing techniques. Unlike PTFE based high performance materials, RO4000 series laminates do not require specialized via preparation processes such as sodium etch. This material is a rigid, thermoset laminate that is capable of being processed by automated handling systems and scrubbing equipment used for copper surface preparation.

RO4003C™ laminates are currently offered in various configurations utilizing both 1080 and 1674 glass fabric styles, with all configurations meeting the same laminate electrical performance specification. Specifically designed as a drop-in replacement for the RO4003C™ material, RO4350B™ laminates utilize RoHS compliant flame-retardant technology for applications requiring UL 94V-0 certification. These materials conform to the requirements of IPC-4103, slash sheet /10 for RO4003C and /11 for RO4350B materials.



Data Sheet

FEATURES AND BENEFITS:

RO4000 materials are reinforced hydrocarbon/ceramic laminates - not PTFE

- Designed for performance sensitive, high volume applications

Low dielectric tolerance and low loss

- Excellent electrical performance
- Allows applications with higher operating frequencies
- Ideal for broadband applications

Stable electrical properties vs. frequency

- Controlled impedance transmission lines
- Repeatable design of filters

Low thermal coefficient of dielectric constant

- Excellent dimensional stability

Low Z-axis expansion

- Reliable plated through holes

Low in-plane expansion coefficient

- Remains stable over an entire range of circuit processing temperatures

Volume manufacturing process

- RO4000 laminates can be fabricated using standard glass epoxy processes
- Competitively priced

CAF resistant

SOME TYPICAL APPLICATIONS:

- Cellular Base Station Antennas and Power Amplifiers
- RF Identification Tags
- Automotive Radar and Sensors
- LNB's for Direct Broadcast Satellites



Chart 1: RO4000 Series Materials Dielectric Constant vs. Temperature

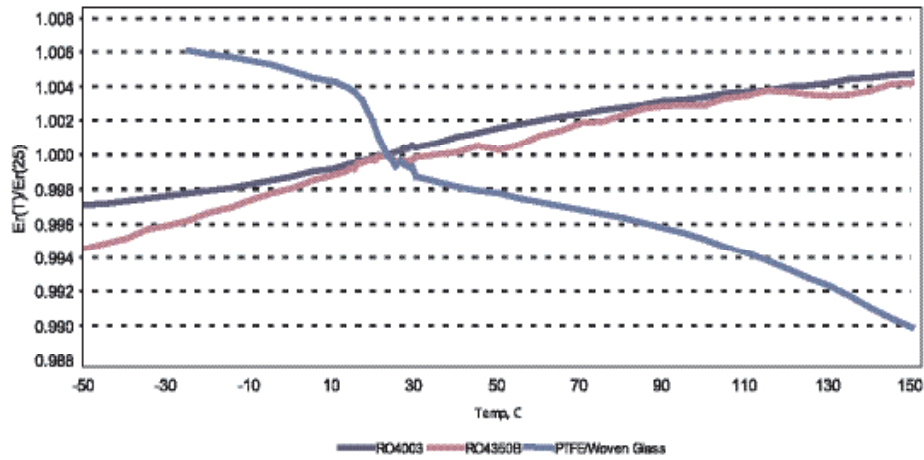


Chart 2: RO4000 Series Materials Dielectric Constant vs. Frequency

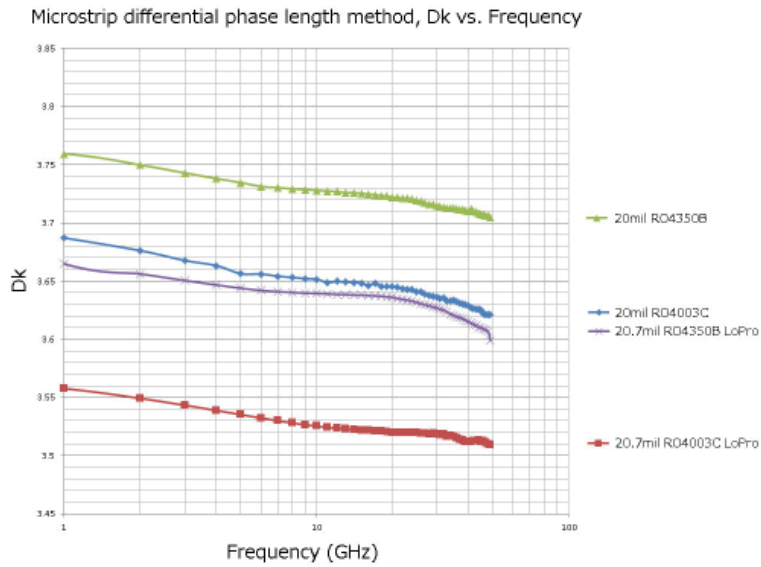
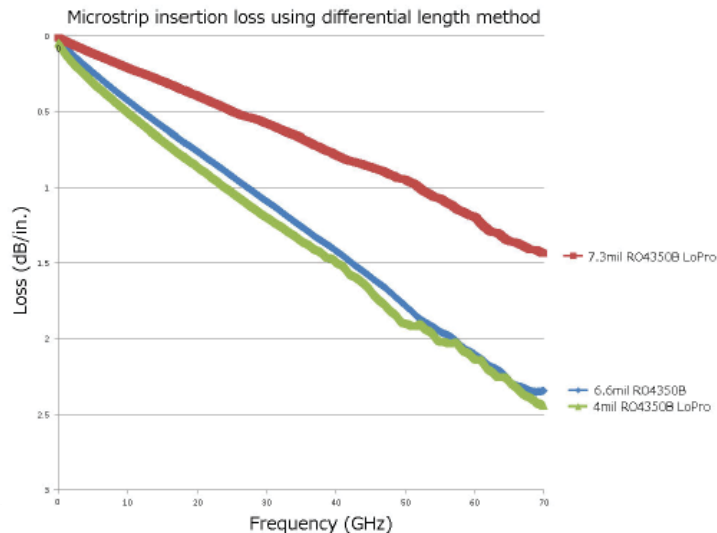


Chart 3: Microstrip Insertion Loss



Property	Typical Value		Direction	Units	Condition	Test Method
	RO4003C	RO4350B				
Dielectric Constant, ϵ_r , Process	3.38 ± 0.05	3.48 ± 0.05	Z	--	10 GHz/23°C	IPC-TM-650 2.5.5.5 Clamped Stripline
⁽⁴⁾ Dielectric Constant, ϵ_r , Design	3.55	3.66	Z	--	8 to 40 GHz	Differential Phase Length Method
Dissipation Factor tan, δ	0.0027 0.0021	0.0037 0.0031	Z	--	10 GHz/23°C 2.5 GHz/23°C	IPC-TM-650 2.5.5.5
Thermal Coefficient of ϵ_r	+40	+50	Z	ppm/°C	-50°C to 150°C	IPC-TM-650 2.5.5.5
Volume Resistivity	1.7 X 10 ¹⁰	1.2 X 10 ¹⁰		M Ω •cm	COND A	IPC-TM-650 2.5.17.1
Surface Resistivity	4.2 X 10 ⁹	5.7 X 10 ⁹		M Ω	COND A	IPC-TM-650 2.5.17.1
Electrical Strength	31.2 (780)	31.2 (780)	Z	KV/mm (V/mil)	0.51mm (0.020")	IPC-TM-650 2.5.6.2
Tensile Modulus	19,650 (2,850) 19,450 (2,821)	16,767 (2,432) 14,153, (2,053)	X Y	MPa (ksi)	RT	ASTM D638
Tensile Strength	139 (20.2) 100 (14.5)	203 (29.5) 130 (18.9)	X Y	MPa (ksi)	RT	ASTM D638
Flexural Strength	276 (40)	255 (37)		MPa (kpsi)		IPC-TM-650 2.4.4
Dimensional Stability	<0.3	<0.5	X,Y	mm/m (mils/inch)	after etch +E2/150°C	IPC-TM-650 2.4.39A
Coefficient of Thermal Expansion	11 14 46	10 12 32	X Y Z	ppm/°C	-55 to 288°C	IPC-TM-650 2.4.41
Tg	>280	>280		°C TMA	A	IPC-TM-650 2.4.24
Td	425	390		°C TGA		ASTM D3850
Thermal Conductivity	0.71	0.69		W/m/°K	80°C	ASTM C518
Moisture Absorption	0.06	0.06		%	48 hrs immersion 0.060" sample Temperature 50°C	ASTM D570
Density	1.79	1.86		gm/cm ³	23°C	ASTM D792
Copper Peel Strength	1.05 (6.0)	0.88 (5.0)		N/mm (pli)	after solder float 1 oz. EDC Foil	IPC-TM-650 2.4.8
Flammability	N/A	⁽²⁾ V-0				UL 94
Lead-Free Process Compatible	Yes	Yes				

- NOTES:
(1) The design Dk is an average number from several different tested lots of material and on the most common thickness/s. If more detailed information is required, please contact Rogers Corporation or refer to Rogers' technical papers in the Rogers Technology Support Hub available at <http://www.rogerscorp.com>.
(2) RO4350B LoPro® laminates do not share the same UL designation as standard RO4350B laminates. A separate UL qualification may be necessary.

Typical values are a representation of an average value for the population of the property. For specification values contact Rogers Corporation.

RO4000 LoPro laminate uses a modified version of the RO4000 resin system to bond reverse treated foil. Values shown above are RO4000 laminates without the addition of the LoPro resin. For double-sided boards, the LoPro foil results in a thickness increase of approximately 0.0007" (18µm) and the Dk is approximately 2.4. The Dk decreases by about 0.1 as the core thickness decreases from 0.020" to 0.004.

Prolonged exposure in an oxidative environment may cause changes to the dielectric properties of hydrocarbon based materials. The rate of change increases at higher temperatures and is highly dependent on the circuit design. Although Rogers' high frequency materials have been used successfully in innumerable applications and reports of oxidation resulting in performance problems are extremely rare, Rogers recommends that the customer evaluate each material and design combination to determine fitness for use over the entire life of the end product.

Standard Thickness	Standard Panel Size	Standard Copper Cladding
RO4003C: 0.008" (0.203mm), 0.012 (0.305mm), 0.016"(0.406mm), 0.020" (0.508mm) 0.032" (0.813mm), 0.060" (1.524mm)	12" X 18" (305 X457 mm) 24" X 18" (610 X 457 mm) 24" X 36" (610 X 915 mm) 48" X 36" (1.224 m X 915 mm)	½ oz. (17µm) electrodeposited copper foil (.5ED/.5ED)
		1 oz. (35µm) electrodeposited copper foil (1ED/1ED)
		2 oz. (70µm) electrodeposited copper foil (2ED/2ED)
		PIM Sensitive Applications:
		½ oz (17µm) LoPro Reverse Treated EDC (.5TC/.5TC)
		1 oz (35µm) LoPro Reverse Treated EDC (1TC/1TC)
RO4350B: *0.004" (0.101mm), 0.0066" (0.168mm) 0.010" (0.254mm), 0.0133" (0.338mm), 0.0166" (0.422mm), 0.020"(0.508mm), 0.030" (0.762mm), 0.060"(1.524mm)	*0.004" (0.101mm) material is not available in panel sizes larger than 24"x18" (610 X 457mm)	
Note: Material clad with LoPro foil add 0.0007" (0.018mm) to dielectric thickness		

The information in this data sheet is intended to assist you in designing with Rogers' circuit materials. It is not intended to and does not create any warranties express or implied, including any warranty of merchantability or fitness for a particular purpose or that the results shown on this data sheet will be achieved by a user for a particular purpose. The user should determine the suitability of Rogers' circuit materials for each application.

The Rogers' logo, Helping power, protect, connect our world, LoPro, RO3003, RO4000, RO4350, RO4350B, and RO4003C are trademarks of Rogers Corporation or one of its subsidiaries.
 © 201 Rogers Corporation, Printed in U.S.A.,
 All rights reserved. Revised 1253 101916 PUB# 92-004

Advanced Connectivity Solutions
 100 S. Roosevelt Avenue, Chandler, AZ 85226
 Tel: 480-961-1382 Fax: 480-961-4533 www.rogerscorp.com

lfreq,S11:LogMag	1.250000000e+009,-	4.208925e+000	1.760000000e+009,-
1.000000000e+009,-	3.089982e+000	1.510000000e+009,-	7.323231e+000
2.598044e+000	1.260000000e+009,-	4.191687e+000	1.770000000e+009,-
1.010000000e+009,-	3.105636e+000	1.520000000e+009,-	7.233307e+000
2.649602e+000	1.270000000e+009,-	4.113004e+000	1.780000000e+009,-
1.020000000e+009,-	3.240909e+000	1.530000000e+009,-	7.082568e+000
2.633411e+000	1.280000000e+009,-	4.217340e+000	1.790000000e+009,-
1.030000000e+009,-	3.332514e+000	1.540000000e+009,-	6.958068e+000
2.592745e+000	1.290000000e+009,-	4.428018e+000	1.800000000e+009,-
1.040000000e+009,-	3.388387e+000	1.550000000e+009,-	6.802158e+000
2.532964e+000	1.300000000e+009,-	4.673560e+000	1.810000000e+009,-
1.050000000e+009,-	3.342765e+000	1.560000000e+009,-	6.679067e+000
2.588666e+000	1.310000000e+009,-	4.812251e+000	1.820000000e+009,-
1.060000000e+009,-	3.318918e+000	1.570000000e+009,-	6.468519e+000
2.755769e+000	1.320000000e+009,-	4.709934e+000	1.830000000e+009,-
1.070000000e+009,-	3.423506e+000	1.580000000e+009,-	6.173426e+000
2.854524e+000	1.330000000e+009,-	4.850454e+000	1.840000000e+009,-
1.080000000e+009,-	3.566589e+000	1.590000000e+009,-	5.916342e+000
2.851185e+000	1.340000000e+009,-	5.063474e+000	1.850000000e+009,-
1.090000000e+009,-	3.647393e+000	1.600000000e+009,-	5.775682e+000
2.764837e+000	1.350000000e+009,-	5.279998e+000	1.860000000e+009,-
1.100000000e+009,-	3.657507e+000	1.610000000e+009,-	5.649331e+000
2.730839e+000	1.360000000e+009,-	5.343515e+000	1.870000000e+009,-
1.110000000e+009,-	3.633081e+000	1.620000000e+009,-	5.536622e+000
2.786023e+000	1.370000000e+009,-	5.267591e+000	1.880000000e+009,-
1.120000000e+009,-	3.698945e+000	1.630000000e+009,-	5.430359e+000
2.825662e+000	1.380000000e+009,-	5.285635e+000	1.890000000e+009,-
1.130000000e+009,-	3.822051e+000	1.640000000e+009,-	5.411849e+000
2.797403e+000	1.390000000e+009,-	5.427374e+000	1.900000000e+009,-
1.140000000e+009,-	3.910311e+000	1.650000000e+009,-	5.463078e+000
2.689482e+000	1.400000000e+009,-	5.653026e+000	1.910000000e+009,-
1.150000000e+009,-	3.983465e+000	1.660000000e+009,-	5.417911e+000
2.597297e+000	1.410000000e+009,-	5.952407e+000	1.920000000e+009,-
1.160000000e+009,-	3.973319e+000	1.670000000e+009,-	5.238947e+000
2.672338e+000	1.420000000e+009,-	6.146808e+000	1.930000000e+009,-
1.170000000e+009,-	4.010559e+000	1.680000000e+009,-	5.016710e+000
2.770876e+000	1.430000000e+009,-	6.292932e+000	1.940000000e+009,-
1.180000000e+009,-	4.167066e+000	1.690000000e+009,-	4.804042e+000
2.849965e+000	1.440000000e+009,-	6.473947e+000	1.950000000e+009,-
1.190000000e+009,-	4.247806e+000	1.700000000e+009,-	4.683428e+000
2.844261e+000	1.450000000e+009,-	6.696186e+000	1.960000000e+009,-
1.200000000e+009,-	4.232797e+000	1.710000000e+009,-	4.561427e+000
2.805726e+000	1.460000000e+009,-	7.054965e+000	1.970000000e+009,-
1.210000000e+009,-	4.100666e+000	1.720000000e+009,-	4.388273e+000
2.935337e+000	1.470000000e+009,-	7.163114e+000	1.980000000e+009,-
1.220000000e+009,-	4.051256e+000	1.730000000e+009,-	4.210961e+000
3.094601e+000	1.480000000e+009,-	7.050569e+000	1.990000000e+009,-
1.230000000e+009,-	4.199012e+000	1.740000000e+009,-	4.050482e+000
3.198328e+000	1.490000000e+009,-	7.130217e+000	2.000000000e+009,-
1.240000000e+009,-	4.226021e+000	1.750000000e+009,-	3.956625e+000
3.190088e+000	1.500000000e+009,-	7.248554e+000	2.010000000e+009,-

3.936402e+000	2.2700000000e+009,-	2.580503e+000	2.7800000000e+009,-
2.0200000000e+009,-	3.008427e+000	2.5300000000e+009,-	4.976503e+000
3.815452e+000	2.2800000000e+009,-	2.608135e+000	2.7900000000e+009,-
2.0300000000e+009,-	3.033689e+000	2.5400000000e+009,-	5.093735e+000
3.618471e+000	2.2900000000e+009,-	2.776629e+000	2.8000000000e+009,-
2.0400000000e+009,-	3.029939e+000	2.5500000000e+009,-	5.254616e+000
3.445848e+000	2.3000000000e+009,-	3.390023e+000	2.8100000000e+009,-
2.0500000000e+009,-	2.971667e+000	2.5600000000e+009,-	5.417596e+000
3.370972e+000	2.3100000000e+009,-	3.429443e+000	2.8200000000e+009,-
2.0600000000e+009,-	2.906999e+000	2.5700000000e+009,-	5.541608e+000
3.348748e+000	2.3200000000e+009,-	3.262553e+000	2.8300000000e+009,-
2.0700000000e+009,-	2.883109e+000	2.5800000000e+009,-	5.680380e+000
3.246199e+000	2.3300000000e+009,-	3.258112e+000	2.8400000000e+009,-
2.0800000000e+009,-	2.887179e+000	2.5900000000e+009,-	5.927582e+000
3.069130e+000	2.3400000000e+009,-	3.571440e+000	2.8500000000e+009,-
2.0900000000e+009,-	2.877003e+000	2.6000000000e+009,-	6.403875e+000
2.899750e+000	2.3500000000e+009,-	3.861043e+000	2.8600000000e+009,-
2.1000000000e+009,-	2.906590e+000	2.6100000000e+009,-	7.556429e+000
2.827173e+000	2.3600000000e+009,-	3.968278e+000	2.8700000000e+009,-
2.1100000000e+009,-	2.968276e+000	2.6200000000e+009,-	7.892582e+000
2.854543e+000	2.3700000000e+009,-	3.949634e+000	2.8800000000e+009,-
2.1200000000e+009,-	3.036728e+000	2.6300000000e+009,-	8.105830e+000
2.819784e+000	2.3800000000e+009,-	3.987319e+000	2.8900000000e+009,-
2.1300000000e+009,-	3.069936e+000	2.6400000000e+009,-	8.343408e+000
2.766379e+000	2.3900000000e+009,-	4.108562e+000	2.9000000000e+009,-
2.1400000000e+009,-	3.014622e+000	2.6500000000e+009,-	8.662359e+000
2.686915e+000	2.4000000000e+009,-	4.234252e+000	2.9100000000e+009,-
2.1500000000e+009,-	2.931757e+000	2.6600000000e+009,-	8.965836e+000
2.608803e+000	2.4100000000e+009,-	4.203341e+000	2.9200000000e+009,-
2.1600000000e+009,-	2.847831e+000	2.6700000000e+009,-	9.258071e+000
2.589984e+000	2.4200000000e+009,-	4.057578e+000	2.9300000000e+009,-
2.1700000000e+009,-	2.816252e+000	2.6800000000e+009,-	9.499036e+000
2.567496e+000	2.4300000000e+009,-	3.869186e+000	2.9400000000e+009,-
2.1800000000e+009,-	2.887513e+000	2.6900000000e+009,-	9.727619e+000
2.556647e+000	2.4400000000e+009,-	3.873788e+000	2.9500000000e+009,-
2.1900000000e+009,-	2.867165e+000	2.7000000000e+009,-	9.842464e+000
2.540620e+000	2.4500000000e+009,-	4.078357e+000	2.9600000000e+009,-
2.2000000000e+009,-	2.767415e+000	2.7100000000e+009,-	9.863241e+000
2.505070e+000	2.4600000000e+009,-	4.319082e+000	2.9700000000e+009,-
2.2100000000e+009,-	2.702267e+000	2.7200000000e+009,-	9.839354e+000
2.602208e+000	2.4700000000e+009,-	4.421639e+000	2.9800000000e+009,-
2.2200000000e+009,-	2.748974e+000	2.7300000000e+009,-	9.895520e+000
2.743497e+000	2.4800000000e+009,-	4.429022e+000	2.9900000000e+009,-
2.2300000000e+009,-	2.862271e+000	2.7400000000e+009,-	9.923094e+000
2.822779e+000	2.4900000000e+009,-	4.433833e+000	3.0000000000e+009,-
2.2400000000e+009,-	2.880980e+000	2.7500000000e+009,-	9.881544e+000
2.872221e+000	2.5000000000e+009,-	4.558193e+000	
2.2500000000e+009,-	2.818300e+000	2.7600000000e+009,-	
2.901483e+000	2.5100000000e+009,-	4.720605e+000	
2.2600000000e+009,-	2.714740e+000	2.7700000000e+009,-	
2.948869e+000	2.5200000000e+009,-	4.876059e+000	

lfreq,S11:LogMag	1.250000000e+009,-	9.128975e+000	1.760000000e+009,-
1.000000000e+009,-	1.390429e+001	1.510000000e+009,-	8.277585e+000
1.282234e+001	1.260000000e+009,-	8.891402e+000	1.770000000e+009,-
1.010000000e+009,-	1.399708e+001	1.520000000e+009,-	8.405714e+000
1.282139e+001	1.270000000e+009,-	8.647117e+000	1.780000000e+009,-
1.020000000e+009,-	1.405943e+001	1.530000000e+009,-	8.553000e+000
1.283921e+001	1.280000000e+009,-	8.482399e+000	1.790000000e+009,-
1.030000000e+009,-	1.402633e+001	1.540000000e+009,-	8.647173e+000
1.286918e+001	1.290000000e+009,-	8.307710e+000	1.800000000e+009,-
1.040000000e+009,-	1.393743e+001	1.550000000e+009,-	8.752576e+000
1.292543e+001	1.300000000e+009,-	8.181579e+000	1.810000000e+009,-
1.050000000e+009,-	1.380495e+001	1.560000000e+009,-	8.851630e+000
1.301065e+001	1.310000000e+009,-	8.062061e+000	1.820000000e+009,-
1.060000000e+009,-	1.357368e+001	1.570000000e+009,-	8.916120e+000
1.311755e+001	1.320000000e+009,-	7.962079e+000	1.830000000e+009,-
1.070000000e+009,-	1.332576e+001	1.580000000e+009,-	9.028788e+000
1.324444e+001	1.330000000e+009,-	7.858323e+000	1.840000000e+009,-
1.080000000e+009,-	1.303981e+001	1.590000000e+009,-	9.123960e+000
1.338851e+001	1.340000000e+009,-	7.789728e+000	1.850000000e+009,-
1.090000000e+009,-	1.272046e+001	1.600000000e+009,-	9.242242e+000
1.346231e+001	1.350000000e+009,-	7.731703e+000	1.860000000e+009,-
1.100000000e+009,-	1.240576e+001	1.610000000e+009,-	9.352805e+000
1.355460e+001	1.360000000e+009,-	7.695599e+000	1.870000000e+009,-
1.110000000e+009,-	1.214934e+001	1.620000000e+009,-	9.436890e+000
1.358331e+001	1.370000000e+009,-	7.671446e+000	1.880000000e+009,-
1.120000000e+009,-	1.190752e+001	1.630000000e+009,-	9.511936e+000
1.360024e+001	1.380000000e+009,-	7.639745e+000	1.890000000e+009,-
1.130000000e+009,-	1.168825e+001	1.640000000e+009,-	9.565766e+000
1.360967e+001	1.390000000e+009,-	7.618551e+000	1.900000000e+009,-
1.140000000e+009,-	1.148175e+001	1.650000000e+009,-	9.612646e+000
1.359142e+001	1.400000000e+009,-	7.597705e+000	1.910000000e+009,-
1.150000000e+009,-	1.130764e+001	1.660000000e+009,-	9.633674e+000
1.359727e+001	1.410000000e+009,-	7.589529e+000	1.920000000e+009,-
1.160000000e+009,-	1.111943e+001	1.670000000e+009,-	9.680651e+000
1.353979e+001	1.420000000e+009,-	7.601115e+000	1.930000000e+009,-
1.170000000e+009,-	1.093624e+001	1.680000000e+009,-	9.723374e+000
1.346413e+001	1.430000000e+009,-	7.620029e+000	1.940000000e+009,-
1.180000000e+009,-	1.074860e+001	1.690000000e+009,-	9.686845e+000
1.341653e+001	1.440000000e+009,-	7.631360e+000	1.950000000e+009,-
1.190000000e+009,-	1.052040e+001	1.700000000e+009,-	9.558312e+000
1.340614e+001	1.450000000e+009,-	7.696133e+000	1.960000000e+009,-
1.200000000e+009,-	1.029988e+001	1.710000000e+009,-	9.420797e+000
1.342765e+001	1.460000000e+009,-	7.796355e+000	1.970000000e+009,-
1.210000000e+009,-	1.007277e+001	1.720000000e+009,-	9.308377e+000
1.348792e+001	1.470000000e+009,-	7.878664e+000	1.980000000e+009,-
1.220000000e+009,-	9.858809e+000	1.730000000e+009,-	9.179612e+000
1.355673e+001	1.480000000e+009,-	7.906376e+000	1.990000000e+009,-
1.230000000e+009,-	9.599606e+000	1.740000000e+009,-	9.066600e+000
1.366590e+001	1.490000000e+009,-	7.993383e+000	2.000000000e+009,-
1.240000000e+009,-	9.351851e+000	1.750000000e+009,-	8.954862e+000
1.379569e+001	1.500000000e+009,-	8.128487e+000	2.010000000e+009,-

8.777377e+000	2.2700000000e+009,-	9.074067e+000	2.7800000000e+009,-
2.0200000000e+009,-	1.000297e+001	2.5300000000e+009,-	4.766094e+000
8.625821e+000	2.2800000000e+009,-	8.565938e+000	2.7900000000e+009,-
2.0300000000e+009,-	1.023254e+001	2.5400000000e+009,-	4.854077e+000
8.471899e+000	2.2900000000e+009,-	8.067623e+000	2.8000000000e+009,-
2.0400000000e+009,-	1.052712e+001	2.5500000000e+009,-	4.899907e+000
8.331161e+000	2.3000000000e+009,-	7.609737e+000	2.8100000000e+009,-
2.0500000000e+009,-	1.087345e+001	2.5600000000e+009,-	4.983019e+000
8.212772e+000	2.3100000000e+009,-	7.229022e+000	2.8200000000e+009,-
2.0600000000e+009,-	1.133692e+001	2.5700000000e+009,-	5.046270e+000
8.122930e+000	2.3200000000e+009,-	6.834122e+000	2.8300000000e+009,-
2.0700000000e+009,-	1.181011e+001	2.5800000000e+009,-	5.117451e+000
8.075286e+000	2.3300000000e+009,-	6.522608e+000	2.8400000000e+009,-
2.0800000000e+009,-	1.242484e+001	2.5900000000e+009,-	5.192533e+000
8.010946e+000	2.3400000000e+009,-	6.240742e+000	2.8500000000e+009,-
2.0900000000e+009,-	1.301662e+001	2.6000000000e+009,-	5.285086e+000
8.019224e+000	2.3500000000e+009,-	5.971716e+000	2.8600000000e+009,-
2.1000000000e+009,-	1.364690e+001	2.6100000000e+009,-	5.346422e+000
8.031707e+000	2.3600000000e+009,-	5.697689e+000	2.8700000000e+009,-
2.1100000000e+009,-	1.427273e+001	2.6200000000e+009,-	5.405055e+000
8.090673e+000	2.3700000000e+009,-	5.423800e+000	2.8800000000e+009,-
2.1200000000e+009,-	1.497042e+001	2.6300000000e+009,-	5.497440e+000
8.229230e+000	2.3800000000e+009,-	5.176126e+000	2.8900000000e+009,-
2.1300000000e+009,-	1.563612e+001	2.6400000000e+009,-	5.554009e+000
8.327323e+000	2.3900000000e+009,-	4.984920e+000	2.9000000000e+009,-
2.1400000000e+009,-	1.613449e+001	2.6500000000e+009,-	5.626465e+000
8.467567e+000	2.4000000000e+009,-	4.838952e+000	2.9100000000e+009,-
2.1500000000e+009,-	1.639561e+001	2.6600000000e+009,-	5.664441e+000
8.609714e+000	2.4100000000e+009,-	4.716201e+000	2.9200000000e+009,-
2.1600000000e+009,-	1.644810e+001	2.6700000000e+009,-	5.712850e+000
8.724119e+000	2.4200000000e+009,-	4.622592e+000	2.9300000000e+009,-
2.1700000000e+009,-	1.625006e+001	2.6800000000e+009,-	5.724287e+000
8.779277e+000	2.4300000000e+009,-	4.539022e+000	2.9400000000e+009,-
2.1800000000e+009,-	1.585080e+001	2.6900000000e+009,-	5.740103e+000
8.881516e+000	2.4400000000e+009,-	4.509037e+000	2.9500000000e+009,-
2.1900000000e+009,-	1.514641e+001	2.7000000000e+009,-	5.760032e+000
9.001651e+000	2.4500000000e+009,-	4.491302e+000	2.9600000000e+009,-
2.2000000000e+009,-	1.424305e+001	2.7100000000e+009,-	5.758302e+000
9.113176e+000	2.4600000000e+009,-	4.488280e+000	2.9700000000e+009,-
2.2100000000e+009,-	1.339075e+001	2.7200000000e+009,-	5.761371e+000
9.209065e+000	2.4700000000e+009,-	4.496405e+000	2.9800000000e+009,-
2.2200000000e+009,-	1.254051e+001	2.7300000000e+009,-	5.783601e+000
9.333211e+000	2.4800000000e+009,-	4.534291e+000	2.9900000000e+009,-
2.2300000000e+009,-	1.175200e+001	2.7400000000e+009,-	5.798571e+000
9.414485e+000	2.4900000000e+009,-	4.547200e+000	3.0000000000e+009,-
2.2400000000e+009,-	1.098518e+001	2.7500000000e+009,-	5.860172e+000
9.553399e+000	2.5000000000e+009,-	4.592772e+000	
2.2500000000e+009,-	1.028927e+001	2.7600000000e+009,-	
9.714773e+000	2.5100000000e+009,-	4.649071e+000	
2.2600000000e+009,-	9.670904e+000	2.7700000000e+009,-	
9.859002e+000	2.5200000000e+009,-	4.729135e+000	

lfreq,S11:SWR	1.4500000000e+009,+4.184990e+000
1.0000000000e+009,+6.736262e+000	1.4600000000e+009,+4.314725e+000
1.0100000000e+009,+6.607135e+000	1.4700000000e+009,+4.365454e+000
1.0200000000e+009,+6.647138e+000	1.4800000000e+009,+4.217371e+000
1.0300000000e+009,+6.749826e+000	1.4900000000e+009,+4.191442e+000
1.0400000000e+009,+6.906816e+000	1.5000000000e+009,+4.207814e+000
1.0500000000e+009,+6.760304e+000	1.5100000000e+009,+4.224462e+000
1.0600000000e+009,+6.356575e+000	1.5200000000e+009,+4.302251e+000
1.0700000000e+009,+6.140375e+000	1.5300000000e+009,+4.199739e+000
1.0800000000e+009,+6.147439e+000	1.5400000000e+009,+4.007751e+000
1.0900000000e+009,+6.336075e+000	1.5500000000e+009,+3.806281e+000
1.1000000000e+009,+6.413647e+000	1.5600000000e+009,+3.701777e+000
1.1100000000e+009,+6.288701e+000	1.5700000000e+009,+3.778263e+000
1.1200000000e+009,+6.201985e+000	1.5800000000e+009,+3.674066e+000
1.1300000000e+009,+6.263550e+000	1.5900000000e+009,+3.527416e+000
1.1400000000e+009,+6.510679e+000	1.6000000000e+009,+3.390806e+000
1.1500000000e+009,+6.738170e+000	1.6100000000e+009,+3.352894e+000
1.1600000000e+009,+6.551788e+000	1.6200000000e+009,+3.398322e+000
1.1700000000e+009,+6.322497e+000	1.6300000000e+009,+3.387403e+000
1.1800000000e+009,+6.150024e+000	1.6400000000e+009,+3.304241e+000
1.1900000000e+009,+6.162139e+000	1.6500000000e+009,+3.180719e+000
1.2000000000e+009,+6.245288e+000	1.6600000000e+009,+3.031778e+000
1.2100000000e+009,+5.974372e+000	1.6700000000e+009,+2.943120e+000
1.2200000000e+009,+5.672831e+000	1.6800000000e+009,+2.880229e+000
1.2300000000e+009,+5.492750e+000	1.6900000000e+009,+2.806425e+000
1.2400000000e+009,+5.506623e+000	1.7000000000e+009,+2.721513e+000
1.2500000000e+009,+5.681135e+000	1.7100000000e+009,+2.596255e+000
1.2600000000e+009,+5.653096e+000	1.7200000000e+009,+2.561086e+000
1.2700000000e+009,+5.422200e+000	1.7300000000e+009,+2.597708e+000
1.2800000000e+009,+5.276604e+000	1.7400000000e+009,+2.571664e+000
1.2900000000e+009,+5.191710e+000	1.7500000000e+009,+2.534084e+000
1.3000000000e+009,+5.260813e+000	1.7600000000e+009,+2.511029e+000
1.3100000000e+009,+5.297698e+000	1.7700000000e+009,+2.538853e+000
1.3200000000e+009,+5.139788e+000	1.7800000000e+009,+2.587171e+000
1.3300000000e+009,+4.938943e+000	1.7900000000e+009,+2.628745e+000
1.3400000000e+009,+4.832576e+000	1.8000000000e+009,+2.683069e+000
1.3500000000e+009,+4.819597e+000	1.8100000000e+009,+2.727843e+000
1.3600000000e+009,+4.851066e+000	1.8200000000e+009,+2.808575e+000
1.3700000000e+009,+4.767178e+000	1.8300000000e+009,+2.931432e+000
1.3800000000e+009,+4.618248e+000	1.8400000000e+009,+3.048892e+000
1.3900000000e+009,+4.517337e+000	1.8500000000e+009,+3.117762e+000
1.4000000000e+009,+4.437140e+000	1.8600000000e+009,+3.182659e+000
1.4100000000e+009,+4.448084e+000	1.8700000000e+009,+3.243139e+000
1.4200000000e+009,+4.408195e+000	1.8800000000e+009,+3.302537e+000
1.4300000000e+009,+4.248481e+000	1.8900000000e+009,+3.313131e+000
1.4400000000e+009,+4.170774e+000	1.9000000000e+009,+3.283994e+000

1.9100000000e+009,+3.309653e+000	2.3700000000e+009,+5.778710e+000
1.9200000000e+009,+3.415813e+000	2.3800000000e+009,+5.717463e+000
1.9300000000e+009,+3.558514e+000	2.3900000000e+009,+5.820236e+000
1.9400000000e+009,+3.707790e+000	2.4000000000e+009,+5.981530e+000
1.9500000000e+009,+3.798636e+000	2.4100000000e+009,+6.154551e+000
1.9600000000e+009,+3.895535e+000	2.4200000000e+009,+6.222348e+000
1.9700000000e+009,+4.042529e+000	2.4300000000e+009,+6.071478e+000
1.9800000000e+009,+4.205857e+000	2.4400000000e+009,+6.113786e+000
1.9900000000e+009,+4.366259e+000	2.4500000000e+009,+6.330270e+000
2.0000000000e+009,+4.466214e+000	2.4600000000e+009,+6.480362e+000
2.0100000000e+009,+4.488386e+000	2.4700000000e+009,+6.372028e+000
2.0200000000e+009,+4.625984e+000	2.4800000000e+009,+6.124053e+000
2.0300000000e+009,+4.870094e+000	2.4900000000e+009,+6.084996e+000
2.0400000000e+009,+5.107312e+000	2.5000000000e+009,+6.217904e+000
2.0500000000e+009,+5.217865e+000	2.5100000000e+009,+6.451066e+000
2.0600000000e+009,+5.251643e+000	2.5200000000e+009,+6.781378e+000
2.0700000000e+009,+5.413565e+000	2.5300000000e+009,+6.710585e+000
2.0800000000e+009,+5.718932e+000	2.5400000000e+009,+6.309617e+000
2.0900000000e+009,+6.046324e+000	2.5500000000e+009,+5.189268e+000
2.1000000000e+009,+6.198728e+000	2.5600000000e+009,+5.131116e+000
2.1100000000e+009,+6.140335e+000	2.5700000000e+009,+5.387052e+000
2.1200000000e+009,+6.214690e+000	2.5800000000e+009,+5.394226e+000
2.1300000000e+009,+6.332602e+000	2.5900000000e+009,+4.932419e+000
2.1400000000e+009,+6.516801e+000	2.6000000000e+009,+4.573088e+000
2.1500000000e+009,+6.708890e+000	2.6100000000e+009,+4.453543e+000
2.1600000000e+009,+6.756917e+000	2.6200000000e+009,+4.473853e+000
2.1700000000e+009,+6.815233e+000	2.6300000000e+009,+4.433000e+000
2.1800000000e+009,+6.843738e+000	2.6400000000e+009,+4.306734e+000
2.1900000000e+009,+6.886294e+000	2.6500000000e+009,+4.183607e+000
2.2000000000e+009,+6.982650e+000	2.6600000000e+009,+4.213191e+000
2.2100000000e+009,+6.725643e+000	2.6700000000e+009,+4.358893e+000
2.2200000000e+009,+6.384540e+000	2.6800000000e+009,+4.563775e+000
2.2300000000e+009,+6.208209e+000	2.6900000000e+009,+4.558528e+000
2.2400000000e+009,+6.103216e+000	2.7000000000e+009,+4.337475e+000
2.2500000000e+009,+6.042778e+000	2.7100000000e+009,+4.104636e+000
2.2600000000e+009,+5.947474e+000	2.7200000000e+009,+4.013289e+000
2.2700000000e+009,+5.831984e+000	2.7300000000e+009,+4.006880e+000
2.2800000000e+009,+5.784381e+000	2.7400000000e+009,+4.002715e+000
2.2900000000e+009,+5.791397e+000	2.7500000000e+009,+3.898176e+000
2.3000000000e+009,+5.902713e+000	2.7600000000e+009,+3.770127e+000
2.3100000000e+009,+6.031523e+000	2.7700000000e+009,+3.655743e+000
2.3200000000e+009,+6.080584e+000	2.7800000000e+009,+3.585732e+000
2.3300000000e+009,+6.072167e+000	2.7900000000e+009,+3.507605e+000
2.3400000000e+009,+6.093254e+000	2.8000000000e+009,+3.406220e+000
2.3500000000e+009,+6.032356e+000	2.8100000000e+009,+3.309834e+000
2.3600000000e+009,+5.909327e+000	2.8200000000e+009,+3.240409e+000

2.8300000000e+009,+3.166435e+000
2.8400000000e+009,+3.043535e+000
2.8500000000e+009,+2.834478e+000
2.8600000000e+009,+2.442138e+000
2.8700000000e+009,+2.350427e+000
2.8800000000e+009,+2.296446e+000
2.8900000000e+009,+2.239783e+000
2.9000000000e+009,+2.168957e+000
2.9100000000e+009,+2.106611e+000
2.9200000000e+009,+2.050764e+000
2.9300000000e+009,+2.007531e+000
2.9400000000e+009,+1.968687e+000
2.9500000000e+009,+1.949920e+000
2.9600000000e+009,+1.946576e+000
2.9700000000e+009,+1.950422e+000
2.9800000000e+009,+1.941412e+000
2.9900000000e+009,+1.937031e+000
3.0000000000e+009,+1.943644e+000

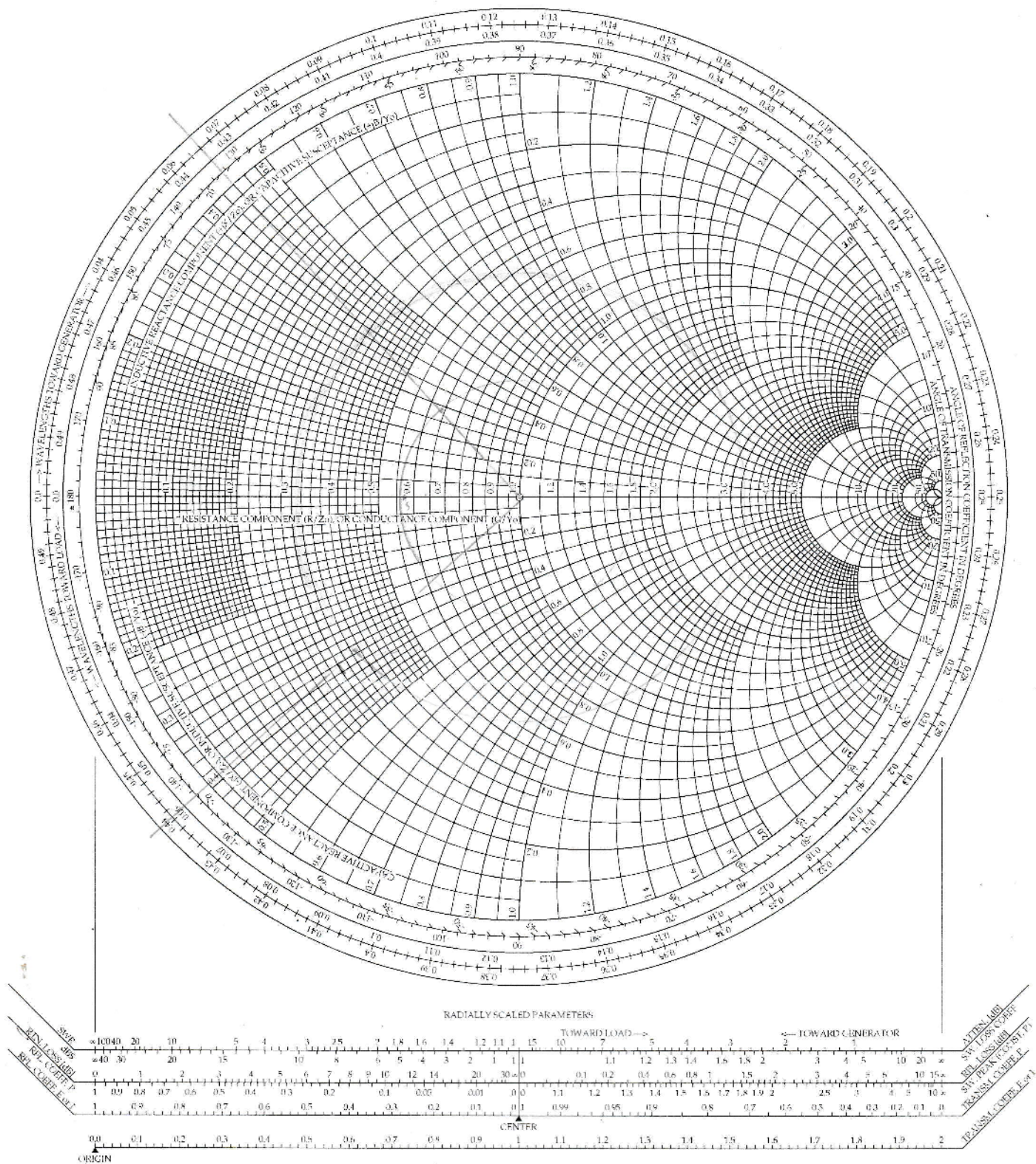
lfreq,S11:SWR	1.4500000000e+009,+1.879754e+000
1.0000000000e+009,+1.592347e+000	1.4600000000e+009,+1.913708e+000
1.0100000000e+009,+1.592431e+000	1.4700000000e+009,+1.947288e+000
1.0200000000e+009,+1.590858e+000	1.4800000000e+009,+1.990190e+000
1.0300000000e+009,+1.588224e+000	1.4900000000e+009,+2.033648e+000
1.0400000000e+009,+1.583320e+000	1.5000000000e+009,+2.074954e+000
1.0500000000e+009,+1.575985e+000	1.5100000000e+009,+2.121475e+000
1.0600000000e+009,+1.566942e+000	1.5200000000e+009,+2.172213e+000
1.0700000000e+009,+1.556433e+000	1.5300000000e+009,+2.208212e+000
1.0800000000e+009,+1.544786e+000	1.5400000000e+009,+2.248074e+000
1.0900000000e+009,+1.538934e+000	1.5500000000e+009,+2.277996e+000
1.1000000000e+009,+1.531724e+000	1.5600000000e+009,+2.307276e+000
1.1100000000e+009,+1.529505e+000	1.5700000000e+009,+2.332495e+000
1.1200000000e+009,+1.528202e+000	1.5800000000e+009,+2.359391e+000
1.1300000000e+009,+1.527477e+000	1.5900000000e+009,+2.377593e+000
1.1400000000e+009,+1.528880e+000	1.6000000000e+009,+2.393259e+000
1.1500000000e+009,+1.528430e+000	1.6100000000e+009,+2.403134e+000
1.1600000000e+009,+1.532873e+000	1.6200000000e+009,+2.409795e+000
1.1700000000e+009,+1.538791e+000	1.6300000000e+009,+2.418606e+000
1.1800000000e+009,+1.542555e+000	1.6400000000e+009,+2.424540e+000
1.1900000000e+009,+1.543381e+000	1.6500000000e+009,+2.430411e+000
1.2000000000e+009,+1.541673e+000	1.6600000000e+009,+2.432724e+000
1.2100000000e+009,+1.536922e+000	1.6700000000e+009,+2.429449e+000
1.2200000000e+009,+1.531559e+000	1.6800000000e+009,+2.424125e+000
1.2300000000e+009,+1.523183e+000	1.6900000000e+009,+2.420950e+000
1.2400000000e+009,+1.513431e+000	1.7000000000e+009,+2.402987e+000
1.2500000000e+009,+1.505440e+000	1.7100000000e+009,+2.375820e+000
1.2600000000e+009,+1.498730e+000	1.7200000000e+009,+2.354059e+000
1.2700000000e+009,+1.494281e+000	1.7300000000e+009,+2.346841e+000
1.2800000000e+009,+1.496637e+000	1.7400000000e+009,+2.324527e+000
1.2900000000e+009,+1.503031e+000	1.7500000000e+009,+2.290889e+000
1.3000000000e+009,+1.512744e+000	1.7600000000e+009,+2.255132e+000
1.3100000000e+009,+1.530248e+000	1.7700000000e+009,+2.225491e+000
1.3200000000e+009,+1.549821e+000	1.7800000000e+009,+2.192599e+000
1.3300000000e+009,+1.573500e+000	1.7900000000e+009,+2.172201e+000
1.3400000000e+009,+1.601437e+000	1.8000000000e+009,+2.149933e+000
1.3500000000e+009,+1.630624e+000	1.8100000000e+009,+2.129529e+000
1.3600000000e+009,+1.655713e+000	1.8200000000e+009,+2.116510e+000
1.3700000000e+009,+1.680525e+000	1.8300000000e+009,+2.094248e+000
1.3800000000e+009,+1.704047e+000	1.8400000000e+009,+2.075909e+000
1.3900000000e+009,+1.727144e+000	1.8500000000e+009,+2.053690e+000
1.4000000000e+009,+1.747369e+000	1.8600000000e+009,+2.033476e+000
1.4100000000e+009,+1.770043e+000	1.8700000000e+009,+2.018449e+000
1.4200000000e+009,+1.792964e+000	1.8800000000e+009,+2.005284e+000
1.4300000000e+009,+1.817357e+000	1.8900000000e+009,+1.995980e+000
1.4400000000e+009,+1.848345e+000	1.9000000000e+009,+1.987971e+000

1.9100000000e+009,+1.984406e+000	2.3700000000e+009,+1.434377e+000
1.9200000000e+009,+1.976504e+000	2.3800000000e+009,+1.395984e+000
1.9300000000e+009,+1.969390e+000	2.3900000000e+009,+1.369820e+000
1.9400000000e+009,+1.975468e+000	2.4000000000e+009,+1.356914e+000
1.9500000000e+009,+1.997261e+000	2.4100000000e+009,+1.354382e+000
1.9600000000e+009,+2.021302e+000	2.4200000000e+009,+1.364043e+000
1.9700000000e+009,+2.041535e+000	2.4300000000e+009,+1.384459e+000
1.9800000000e+009,+2.065377e+000	2.4400000000e+009,+1.423818e+000
1.9900000000e+009,+2.086911e+000	2.4500000000e+009,+1.481452e+000
2.0000000000e+009,+2.108786e+000	2.4600000000e+009,+1.544607e+000
2.0100000000e+009,+2.144777e+000	2.4700000000e+009,+1.617917e+000
2.0200000000e+009,+2.176784e+000	2.4800000000e+009,+1.697104e+000
2.0300000000e+009,+2.210558e+000	2.4900000000e+009,+1.786756e+000
2.0400000000e+009,+2.242619e+000	2.5000000000e+009,+1.881304e+000
2.0500000000e+009,+2.270504e+000	2.5100000000e+009,+1.978136e+000
2.0600000000e+009,+2.292249e+000	2.5200000000e+009,+2.085471e+000
2.0700000000e+009,+2.303991e+000	2.5300000000e+009,+2.189768e+000
2.0800000000e+009,+2.320085e+000	2.5400000000e+009,+2.305893e+000
2.0900000000e+009,+2.317999e+000	2.5500000000e+009,+2.427019e+000
2.1000000000e+009,+2.314862e+000	2.5600000000e+009,+2.540197e+000
2.1100000000e+009,+2.300182e+000	2.5700000000e+009,+2.671720e+000
2.1200000000e+009,+2.266576e+000	2.5800000000e+009,+2.787314e+000
2.1300000000e+009,+2.243509e+000	2.5900000000e+009,+2.902339e+000
2.1400000000e+009,+2.211528e+000	2.6000000000e+009,+3.022704e+000
2.1500000000e+009,+2.180257e+000	2.6100000000e+009,+3.157469e+000
2.1600000000e+009,+2.155887e+000	2.6200000000e+009,+3.306282e+000
2.1700000000e+009,+2.144384e+000	2.6300000000e+009,+3.454873e+000
2.1800000000e+009,+2.123470e+000	2.6400000000e+009,+3.579997e+000
2.1900000000e+009,+2.099555e+000	2.6500000000e+009,+3.682362e+000
2.2000000000e+009,+2.077966e+000	2.6600000000e+009,+3.773480e+000
2.2100000000e+009,+2.059859e+000	2.6700000000e+009,+3.846300e+000
2.2200000000e+009,+2.037020e+000	2.6800000000e+009,+3.913909e+000
2.2300000000e+009,+2.022424e+000	2.6900000000e+009,+3.938792e+000
2.2400000000e+009,+1.998107e+000	2.7000000000e+009,+3.953670e+000
2.2500000000e+009,+1.970817e+000	2.7100000000e+009,+3.956217e+000
2.2600000000e+009,+1.947257e+000	2.7200000000e+009,+3.949377e+000
2.2700000000e+009,+1.924488e+000	2.7300000000e+009,+3.917813e+000
2.2800000000e+009,+1.889647e+000	2.7400000000e+009,+3.907181e+000
2.2900000000e+009,+1.847412e+000	2.7500000000e+009,+3.870136e+000
2.3000000000e+009,+1.801021e+000	2.7600000000e+009,+3.825397e+000
2.3100000000e+009,+1.743918e+000	2.7700000000e+009,+3.763651e+000
2.3200000000e+009,+1.690851e+000	2.7800000000e+009,+3.735865e+000
2.3300000000e+009,+1.628806e+000	2.7900000000e+009,+3.671462e+000
2.3400000000e+009,+1.575475e+000	2.8000000000e+009,+3.638854e+000
2.3500000000e+009,+1.524629e+000	2.8100000000e+009,+3.581290e+000
2.3600000000e+009,+1.479417e+000	2.8200000000e+009,+3.538787e+000

2.8300000000e+009,+3.492247e+000
2.8400000000e+009,+3.444578e+000
2.8500000000e+009,+3.387734e+000
2.8600000000e+009,+3.351181e+000
2.8700000000e+009,+3.317038e+000
2.8800000000e+009,+3.264764e+000
2.8900000000e+009,+3.233643e+000
2.9000000000e+009,+3.194727e+000
2.9100000000e+009,+3.174741e+000
2.9200000000e+009,+3.149662e+000
2.9300000000e+009,+3.143802e+000
2.9400000000e+009,+3.135737e+000
2.9500000000e+009,+3.125640e+000
2.9600000000e+009,+3.126514e+000
2.9700000000e+009,+3.124964e+000
2.9800000000e+009,+3.113792e+000
2.9900000000e+009,+3.106319e+000
3.0000000000e+009,+3.075983e+000

The Complete Smith Chart

Black Magic Design





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

Kampus Universitas Negeri Jakarta, Jalan Rawamangun Muka, Jakarta 13220
Telepon/Faximile : Rektor : (021) 4893854, PRI : 4895130, PR II : 4893918, PR III : 4892926, PR IV : 4893982
BAUK : 4750930, BAAK : 4759081, BAPSI : 4752180
Bagian UHTP : Telepon. 4893726, Bagian Keuangan : 4892414, Bagian Kepegawaian : 4890536, Bagian HUMAS : 4898486
Laman : www.unj.ac.id

Nomor : **3452/UN39.12/KM/2016**
Lamp. : -
Hal : **Permohonan Izin Mengadakan Penelitian
untuk Penulisan Skripsi**

28 Oktober 2016

Yth. Kepala Pusat Penelitian
Elektronika dan Telekomunikasi LIPI
Kampus LIPI Bandung
Jl. Cisitua Sangkuriang, Bandung,
Jawa Barat 40135

Kami mohon kesediaan Saudara untuk dapat menerima Mahasiswa Universitas Negeri Jakarta :

Nama : **Rizky Kurnia Wardhani**
Nomor Registrasi : 5215122664
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektronika
Fakultas : Teknik Universitas Negeri Jakarta
No. Telp/HP : 085710258064

Dengan ini kami mohon diberikan ijin mahasiswa tersebut, untuk dapat mengadakan penelitian guna mendapatkan data yang diperlukan dalam rangka penulisan skripsi dengan judul :

"Rancang Bangun Low Noise Amplifier Pada Frekuensi 1.575 GHz Menggunakan Metode 2 Tingkat Dengan Pembiasan Fixed Bias"

Atas perhatian dan kerjasama Saudara, kami sampaikan terima kasih.

Kepala Biro Akademik, Kemahasiswaan,
dan Hubungan Masyarakat



Woro Sasmoyo, SH
NIP. 19630403 198510 2 001

Tembusan :
1. Dekan Fakultas Teknik
2. Kaprog Pendidikan Teknik Elektronika



LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES
PUSAT PENELITIAN ELEKTRONIKA DAN TELEKOMUNIKASI (P2ET-LIPI)
RESEARCH CENTER FOR ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATION

Nomor : B-1104/IPT.5.01.02/KS/XI/2016
Sifat : Biasa
Lamp. : -
Perihal : Re_Permohonan Izin Mengadakan Penelitian
Untuk Penulisan Skripsi

Bandung, 9 November 2016

Yth. Kepala Biro Akademik, Kemahasiswaan
dan Hubungan Masyarakat
Universitas Negeri Jakarta
Jl. Rawamangun
Jakarta

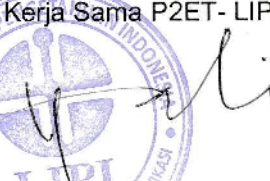
Membalas surat saudara No.3452/UN39.12/KM/2016 tertanggal 28 Oktober 2016, perihal Permohonan Izin Mengadakan Penelitian untuk Penulisan Skripsi di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi-LIPI dari Mahasiswa saudara yang bernama:

NO	NAMA/ NIM	JUDUL TA (dari P2ET/ bawa-sendiri)*	PROGRAM	PEMBIMBING
1	Rizky Kurnia Wardhani/ 5215122664	Rancang Bangun Low Noise Amplifier Pada Frekuensi 1.575 GHz Menggunakan Metode 2 Tingkat Dengan Pembiasan Fixed Bias	S-1	Yaya Sulaeman, S.T

Pada prinsipnya kami dapat menyetujui mahasiswa tersebut untuk melaksanakan penelitian di P2ET LIPI dengan mengikuti tata tertib/aturan yang berlaku.

Demikian pemberitahuan ini disampaikan atas perhatian dan kerja samanya kami mengucapkan terima kasih.

Kepala Subbidang Diseminasi dan
Kerja Sama P2ET- LIPI,


Yadi Radiansah, S.T

(*) Coret yang tidak perlu

Tembusan:

1. Para Ketua Keltian;
2. Arsip.-

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Rizky Kurnia Wardhani, lahir di Bekasi, 14 Oktober 1994. Anak bungsu dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Ibrahim Leppang dan Ibu Emi Sulistyati. Riwayat pendidikan formal yang pernah ditempuh oleh Peneliti, Pendidikan Dasar di SDN Teluk Pucung III (2000 – 2006), Pendidikan Menengah di SMPN 21 Bekasi (2006-2009) dan Pendidikan Menengah Atas SMA Mutiara 17 Agustus (2009-2012) dan Melanjutkan ke jenjang Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Elektronika, Konsentrasi Peminatan Telekomunikasi.